



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

*Previo a la obtención del título de:*

*Ingeniero Mecánico*

**TEMA:**

---

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE  
DIFERENTES POLÍMEROS Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DEL  
MONTAJE DE PROBETAS METALGRÁFICAS EN EL LABORATORIO  
DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

**AUTOR:** Edwin Adolfo Lascano Constante

**TUTOR:** Ing. Mg. Henry Vaca

Ambato – Ecuador

2016

## **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación, con el tema “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE DIFERENTES POLÍMEROS Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DEL MONTAJE DE PROBETAS METALOGRÁFICAS EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA”, desarrollado por el estudiante Edwin Adolfo Lascano Constante, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, CERTIFICO que dicho informe investigativo reúne los requisitos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal Examinador designado por el Consejo Directivo de ésta Facultad.

Ambato, marzo de 2016

**EL TUTOR**



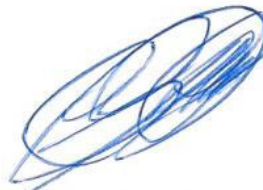
Ing. Mg. Henry Vaca

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Declaro que los criterios expresados en la investigación denominada “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE DIFERENTES POLÍMEROS Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DEL MONTAJE DE PROBETAS METALOGRAFICAS EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA”, así como también las ideas, análisis, conclusiones y propuesto son auténticas y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor de la presente investigación de grado.

Ambato, marzo de 2016

### **EL AUTOR**



.....  
Edwin Adolfo Lascano Constante

180478123-3


## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de investigación o parte él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos de éste trabajo de investigación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de ésta, dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, marzo de 2016

### **EL AUTOR**



.....  
Edwin Adolfo Lascano Constante

180478123-3



## DEDICATORIA

*A mis queridos padres José y Marina, quienes con mucho amor y cariño me guían y son un apoyo para mí. A mis queridos hermanos Bolívar y Jisela por su confianza y compañía.*

*A mi sobrina Samantha y mi primo Andrés que con sus ocurrencias, risas y juegos me llenan de alegría.*

*A mis familiares, y a todas aquellas personas que me brindaron su amistad sincera y desinteresada.*

*Quien les recuerda por todo su apoyo.*

*Edwin Lascano C.*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco:*

*A Dios.*

*A la Universidad Técnica de Ambato y a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Mecánica que durante los años de formación profesional fueron con sus exigencias un pilar para el desarrollo de conocimientos; a todos ustedes incontables gracias.*

*Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que me apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa importante de mi vida.*

*A todos aquellos que, aunque no directamente, me han ayudado a llegar hasta este éxito.*

Edwin Lascano C.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### PÁGINAS PRELIMINARES

TEMA: .....	1
CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
1. EL PROBLEMA.....	1
1.1. Tema de investigación.....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	1
1.2.1. Contextualización del problema.....	1
1.2.2. Análisis crítico .....	3
1.2.3. Prognosis .....	3
1.2.4. Formulación del problema .....	3
1.2.5. Preguntas directrices o interrogantes .....	4
1.2.6. Delimitación.....	4
1.3. Justificación de la investigación.....	4
1.4. Objetivos .....	5

1.4.1.	General .....	5
1.4.2.	Específicos .....	5
CAPÍTULO II .....		6
2.	MARCO TEÓRICO .....	6
2.1.	Antecedentes investigativos .....	6
2.2.	Fundamentación filosófica .....	6
2.3.	Fundamentación legal.....	7
2.4.	Categorías fundamentales.....	26
2.4.1.	Polímeros .....	1
2.4.2.	Manufactura de polímeros.....	6
2.4.3.	Termo-compresión de polímeros .....	7
2.4.4.	Ensayo metalográfico.....	9
2.4.5.	Montaje de probetas metalográficas.....	10
2.4.6.	Calidad en el montaje de probetas metalográficas .....	13
2.5.	Hipótesis .....	16
2.6.	Señalamiento de variables .....	16
CAPÍTULO III .....		17
3.	METODOLOGÍA .....	17
3.1.	Enfoque .....	17
3.2.	Modalidad básica de la investigación.....	17
3.3.	Niveles de investigación.....	18

3.3.1.	Por asociación de variables .....	18
3.3.2.	Descriptivo .....	18
3.4.	Población y muestra .....	18
3.5.	Operacionalización de variables.....	20
3.6.	Plan de recolección de información. ....	22
3.7.	Plan de procesamiento de la información.....	22
CAPÍTULO IV .....		23
4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS. ....	23
4.1.	Análisis de resultados. ....	23
4.2.	Interpretación de resultados.....	56
4.3.1.	Ho hipótesis nula:.....	57
4.3.2.	Ha hipótesis alternativa:.....	58
4.3.3.	Verificación.....	58
4.3.4.	Regla de decisión .....	58
4.3.5.	Verificación de la hipótesis con respecto a la Dureza Shore D Baquelita vs. Lucita. ....	59
4.3.6.	Verificación de la hipótesis con respecto a la resistencia a la compresión Baquelita vs. Lucita.....	61
4.3.7.	Verificación de la hipótesis con respecto a la Dureza Shore D Baquelita vs. PS Cristal. ....	62
4.3.8.	Verificación de la hipótesis con respecto a la resistencia a la compresión Baquelita vs. PS Cristal.....	64

4.3.9. Verificación de la hipótesis con respecto a la Dureza Shore D Baquelita vs. Poliestireno Choque. ....	65
4.3.10. Verificación de la hipótesis con respecto a la resistencia a la compresión Baquelita vs. Poliestireno Choque. ....	67
CAPÍTULO V .....	71
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	71
5.1. Conclusiones .....	71
5.2. Recomendaciones .....	72
CAPÍTULO VI.....	74
6. PROPUESTA.....	74
6.1. Datos informativos .....	74
6.2. Antecedentes de la propuesta .....	75
6.3. Justificación.....	75
6.4. Objetivos .....	76
6.4.1. General .....	76
6.4.2. Específicos .....	76
6.5. Análisis de factibilidad .....	76
6.6. Fundamentación .....	76
6.7. Metodología.....	77
6.8. Administración .....	85
6.9. Previsión de la evaluación .....	86
6.10. Bibliografía.....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Características de los compuestos para el montaje a Termo-Compresión .....	8
Tabla 2-2. Abreviaturas de los plásticos más comunes.....	2
Tabla 2-3. Propiedades mecánicas del PS Cristal y PS Choque. ....	4
Tabla 2-4. Valores de $lc$ para la rugosidad en función del proceso de fabricación.....	16
Tabla 2-5 Clase de Rugosidad Superficial. ....	16
Tabla 3-1. Estimación del número mínimo de probetas necesarias para el estudio...	18
Tabla 3-2. Variable Independiente: Proceso de termo-compresión de materiales poliméricos.....	20
Tabla 3-3. VARIABLE DEPENDIENTE: Calidad de montaje de probetas metalográficas .....	21
Tabla 4-1 Valores de dureza shore D bajo la norma ASTM D 2240 según el anexo V obtenidos en los laboratorios de la EPN. ....	26
Tabla 4-2 Valores de masa, volumen y densidad de una muestra de cada material de las probetas metalográficas. ....	26
Tabla 4-3. Ensayo del comportamiento a termo-compresión de diferentes polímeros.....	56
Tabla 4-4. Equivalencia de la presión de aceite en el cilindro hidráulico y la presión en la muestra.....	57
Tabla 4-5 Verificación de la hipótesis respecto a la Dureza Shore D de las probetas de Baquelita vs. Lucita .....	59

Tabla 4-6 Verificación de la hipótesis respecto a la resistencia a la compresión de las probetas de Baquelita vs. Lucita. ....	61
Tabla 4-7 Verificación de la hipótesis respecto a la Dureza Shore D de las probetas de Baquelita vs. PS Cristal. ....	62
Tabla 4-8 Verificación de la hipótesis respecto a la resistencia a la compresión de las probetas de Baquelita vs. PS Cristal. ....	64
Tabla 4-9 Verificación de la hipótesis respecto a la Dureza Shore D de las probetas de Baquelita vs. Poliestireno Choque. ....	65
Tabla 4-10 Verificación de la hipótesis respecto a la resistencia a la compresión de las probetas de Baquelita vs. Poliestireno Choque. ....	67
Tabla 4-11 Verificación de la Hipótesis respecto a las variables analizadas con la prueba T Student. ....	68
Tabla 4-12 Cuadro comparativo de los parámetros analizados entre Baquelita y PS Choque. ....	69
Tabla 4-13 Tabla de ponderación de acuerdo a cada material ensayado según se cumple en la tabla anterior ....	69
Tabla 6-1. Análisis económico donde se expone los costos necesarios para el desarrollo del presente estudio. ....	85



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Categorías fundamentales.....	26
Figura 2-2. Polímeros y resinas.....	12
Figura 2-3. Prensa para el montaje en caliente de probetas metalográficas.....	12
Figura 2-4. Espécimen encapsulado en caliente (probeta metalográfica).....	12
Figura 2-5. Perfil de rugosidad del material.....	15
Figura 4-1. Diagrama de flujo del proceso a termo-compresión: .....	24
Figura 4-2 Probeta metalográfica en diferentes vistas su altura puede variar entre 10 y 15 mm. ....	25
Figura 4-3 Posibles defectos de moldeo.....	55
Figura 4-4 Posibles defectos de moldeo.....	55
Figura 6-1 Diagrama de procesos para obtener muestras de baquelita para el análisis metalográfico.....	77

## TABLA DE FICHAS

Ficha 4.1. Estudio del comportamiento a termo-compresión de baquelita.....	27
Ficha 4.2. Estudio del comportamiento a termo-compresión de baquelita.....	28
Ficha 4.3. Estudio del comportamiento a termo-compresión de baquelita.....	29
Ficha 4.4. Estudio del comportamiento a termo-compresión de baquelita.....	30
Ficha 4.5. Estudio del comportamiento a termo-compresión de baquelita.....	31
Ficha 4.6. Estudio del comportamiento a termo-compresión de baquelita.....	32
Ficha 4.7. Estudio del comportamiento a termo-compresión de lucita.....	33
Ficha 4.8. Estudio del comportamiento a termo-compresión de lucita.....	34
31. FICHA 4.9. Estudio del comportamiento a termo-compresión de lucita.....	35
Ficha 4.10. Estudio del comportamiento a termo-compresión de lucita.....	36
Ficha 4.11. Estudio del comportamiento a termo-compresión de lucita.....	37
Ficha 4.12. Estudio del comportamiento a termo-compresión de lucita.....	38
Ficha 4.13. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.....	39
Ficha 4.14. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.....	40
Ficha 4.15. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.....	41
Ficha 4.16. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.....	42
Ficha 4.17. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.....	43
Ficha 4.18. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.....	44
Ficha 4.19. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.....	45

Ficha 4.20. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.....	46
Ficha 4.21. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.....	47
Ficha 4.22. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.....	48
Ficha 4.23. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.....	49
Ficha 4.24. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.....	50

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**RESUMEN EJECUTIVO**

**TEMA:** ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE DIFERENTES POLÍMEROS Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DEL MONTAJE DE PROBETAS METALGRÁFICAS EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TUTOR:** Ing. Mg. Henry Vaca

**AUTOR:** Edwin Adolfo Lascano Constante

Realizar el montaje de probetas metalográficas en un material polímero diferente al tradicional que sea fácil de conseguir, que mejore la calidad y que tenga un procedimiento establecido es importante para poder obtener datos de su composición, tamaño de grano y microestructura, abaratando costos y mejorando el proceso, el mismo que permitirá mejores prácticas de aprendizaje e investigaciones en nuevos materiales.

Para la investigación se utilizaron cuatro tipos de polímeros: resina fenólica (baquelita), resina acrílica (lucita), éstos en material virgen, poliestireno cristal y poliestireno choque como material reciclado de las cajas de CD's (material transparente y material oscuro respectivamente), todos los materiales fueron molidos para facilitar el proceso. De los cuales se obtiene mejores características con el poliestireno choque que se conforma a temperatura de 270<sup>a</sup>C y se compacta a 1000 psi evidenciando mejor calidad en el proceso a termo-compresión en lo que se refiere a dureza, resistencia última a la compresión, y rugosidad.

Por lo que se propone un procedimiento para realizar el montaje de probetas metalográficas en caliente con la prensa hidráulica con diferentes polímeros, en el que se describe el proceso y las actividades a desarrollar por el operador paso a paso para obtener probetas metalográficas de excelente calidad.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1. Tema de investigación**

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE DIFERENTES POLÍMEROS Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DEL MONTAJE DE PROBETAS METALGRÁFICAS EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.

#### **1.2. Planteamiento del problema**

##### **1.2.1. Contextualización del problema.**

En el mundo es de gran importancia investigar la microestructura de los materiales tanto para definir las características técnicas de composición como para hacerse una idea de las propiedades físicas o mecánicas que ostenta dicho material, así también es fundamental realizar su respectivo ensayo metalográfico como parte de la investigación de nuevos materiales.

El método de transformación de polímeros más antiguo es el moldeo por termo-compresión y que existe en la actualidad. Aparece por primera vez en bibliografías de principios del siglo XIX, aunque no haya comenzado a desarrollarse a escala industrial hasta el año 1908, cuando Leo Baekeland desarrolló las resinas de fenol-formaldehído, que siguen empleándose en la actualidad. El moldeo por termo-compresión se utiliza mayoritariamente para moldear materiales termoestables o termofijos y, en ocasiones particulares para procesar polímeros termoplásticos. Estos materiales se encuentran inicialmente en forma de polvo o líquidos. Cuando los materiales termo-endurecibles se someten a calor y presión, primero disminuye su viscosidad, hasta alcanzar el estado líquido y luego reaccionan de forma química irreversible llamándose polimerización o curado. Los principales materiales termoestables empleados son resina epoxi, fenólicas, poliésteres, poliuretanos y siliconas, entre otros. Los materiales reforzados con fibras también se suelen procesar mediante esta técnica de termo-compresión, así como los materiales

espumados. Los termoestables poseen buena estabilidad dimensional, estabilidad térmica, resistencia química y resistencia a la abrasión (Beltrán & Marcilla, 2012).

Dado a que la demanda que existe en el uso de probetas metalográficas está ligado directamente con el investigador y no corresponde a un área industrial el proceso de moldeo por termo-compresión está limitado a la producción de piezas en cantidades pequeñas en ciclos largos, lo que se pretende es reducir el tiempo en cada ciclo y obtener la probeta metalográfica tan pronto como sea posible y de buena calidad.

A nivel mundial se investigan nuevos materiales que presenten mejores características y propiedades mecánicas pero también influye bastante el medio por el que lo realice al montar probetas metalográficas, desde décadas anteriores se ha realizado el montaje de muestras metalográficas en diferentes polímeros ya sea montaje en frío o en caliente con la ayuda de procedimientos manuales poco técnicos o muy demorosos, afrontar estas condiciones de trabajo se hace indispensable en la industria y en la investigación ya que al realizar un análisis metalográfico de calidad, tecnificado, con polímeros adecuados y en corto tiempo ayuda si se tiene que reparar o confeccionar un elemento de máquina con mejores prestaciones en corto tiempo o si se tuviera que realizar un montaje de un sin número de muestras.

A principios de los 70's, surge el método de moldeo cerrado utilizando moldes metálicos colocados en prensas y utilizando resinas compuestas que ya tenían impregnada la fibra de vidrio en forma de pequeños filamentos, este método recibió el nombre de "moldeo cerrado" debido a que los moldes se cerraban por completo y en un lapso de hasta 3 minutos se obtenían las piezas terminadas.

Para el análisis metalográfico de una aleación estudiada en España se usó como polímero termoplástico de embutición una resina termoplástica de polimetacrilato de metilo (PMMA) que es el acrílico.

En México con este método se lograron volúmenes de producción de hasta 150 000 piezas anuales con un solo molde, suficientes para poder cumplir los requerimientos de la industria automotriz, además este proceso de fabricación se conocía como proceso de moldeo por termo-compresión (Ortega, 2007).

Al ser un método de proceso de polímeros tan importante y desarrollado hace varias décadas es el proceso por el cual se realiza el montaje de probetas metalográficas obteniendo una buena compactación y la eliminación de poros o burbujas de aire internas en el material.

En Cartagena con el estudio de las propiedades de materiales poliméricos producto del reciclaje se los probaron en diferentes procesos uno de ellos la termo-compresión obteniendo discos de PMMA.

En Ecuador las investigaciones sobre este tema son muy escasas por lo que es un área poco conocida y explotada dentro de los ensayos metalográficos de laboratorio haciéndose primordial estudio del proceso de termo-compresión aplicado al montaje de probetas metalográficas en diferentes polímeros.

### **1.2.2. Análisis crítico**

En vista de la necesidad de investigar el comportamiento a termo-compresión de polímeros y en búsqueda del procedimiento adecuado que permita mejorar la calidad y presente un menor tiempo de procesamiento para el montaje de probetas metalográficas, el desconocimiento de materiales que pueden reemplazar en el montaje en el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

### **1.2.3. Prognosis**

Al dejar de investigar el comportamiento que tienen los polímeros frente al proceso de termo-compresión el cual es utilizado para el montaje de probetas metalográficas que presente un menor tiempo de procesamiento, y probetas de excelente calidad; persistirán demoras en el análisis, pérdidas de material polimérico que no se puede reprocesar y peor aún pérdida de las muestras metalográficas siendo esto un factor en contra del desarrollo educativo y de investigación en el área de materiales.

### **1.2.4. Formulación del problema**

¿Con el estudio del comportamiento a termo-compresión de polímeros se mejorará la calidad en el montaje de probetas metalográficas, en el laboratorio de Materiales de Ingeniería Mecánica?

### **1.2.5. Preguntas directrices o interrogantes**

¿Cuáles es el procedimiento que conlleva al proceso de termo-compresión en montaje de probetas metalográficas?

¿Cómo se mejorará la calidad en el montaje de probetas metalográficas?

¿Qué valores tomarán los parámetros físicos de procesamiento de polímeros que se utilizarán en el montaje de probetas metalográficas?

¿Cuáles serán los tiempos ocupados para cada paso en el montaje de probetas?

### **1.2.6. Delimitación.**

#### **1.2.6.1. Delimitación de contenido**

El estudio se orientó dentro de los parámetros de investigación de Ingeniería Mecánica, haciendo énfasis en el área de Ingeniería de Materiales, se alimentó el estudio con fuentes de información relacionadas con el procesamiento de polímeros a termo-compresión, sus características físicas y técnicas así como del tiempo empleado para obtener probetas metalográficas con excelente calidad en un montaje adecuado.

#### **1.2.6.2. Delimitación espacial**

El presente proyecto se realizó en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, parroquia Huachi Chico, ciudadela El Dorado, en el Campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato, en el laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

#### **1.2.6.3. Delimitación temporal**

El presente estudio del comportamiento a termo-compresión de diferentes polímeros se realizó en un período de siete meses.

### **1.3. Justificación de la investigación**

Al ser el ensayo metalográfico un procedimiento fundamental en la caracterización de los materiales y en la investigación de nuevos materiales que al ser llevado a cabo con procedimientos técnicos sofisticados permiten el abastecimiento de información verídica.



Al realizar el montaje de probetas metalográficas en un material adecuado que cumpla con los parámetros, requerimientos y cumpliendo con el respectivo procedimiento aportará de gran manera un buen estudio metalográfico, reduciendo tiempos de montaje, preparación y visualización de las probetas, así como también reduciendo costes por desperdicios de material todo esto para mejorar su calidad.

La tecnología que se requiere para desarrollar el presente estudio se la encuentra dentro de la localidad a precios asequibles, la energía se la puede abastecer con fuente de alimentación en el mismo laboratorio de materiales y la materia prima para el montaje de las probetas se la puede conseguir de proveedor directo que las importa cubriendo costos que para investigación justifica el beneficio de gran manera.

Mejorar cada día el modo de ver la tecnología en beneficio de la educación hace posible ir mejorando y equipando el laboratorio de materiales con equipos que puedan ser automáticos y puedan mostrar valores exactos requeridos por el usuario como son la temperatura, presión y tiempo que son los factores a medir fundamentales en el presente estudio.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. General**

- Estudiar el comportamiento a termo-compresión de polímeros para mejorar la calidad en el montaje de probetas metalográficas.

##### **1.4.2. Específicos**

- Determinar la temperatura de conformación para el montaje de probetas metalográficas con material termoplástico y material termofijo.
- Obtener la presión óptima de compactación del polímero para el montaje a termo-compresión de probetas metalográficas.
- Establecer el menor tiempo durante el proceso de montaje de probetas metalográficas mediante el proceso de termo-compresión.
- Evaluar la calidad la probeta mediante propiedades mecánicas a medir en laboratorio requeridas y aceptables para el ensayo metalográfico.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes investigativos**

Cuando las probetas metalográficas son pequeñas o de una forma que no permite un manejo fácil en las operaciones de desbaste y pulido, como ocurre, por ejemplo con virutas, alambres, varillas y tubos pequeños, chapas, secciones delgadas, etc. Es necesario montarlas en un material adecuado para hacer posible la preparación (Paredes & Vivanco, 2006).

Para el diseño y construcción de la prensa hidráulica automática para el montaje de probetas metalográficas en caliente consideremos como parámetros de diseño la presión (2500 a 3500 psi) y la temperatura (135 a 150 °C) las cuales hay que aplicarse a la baquelita para obtener el moldeo y endurecimiento de la probeta montada (Escobar, 2008).

#### **2.2. Fundamentación filosófica**

Al desarrollar la presente investigación se pretende estudiar el comportamiento a termo-compresión de diferentes polímeros, y su incidencia en la calidad de montaje de probetas metalográficas, procedimiento en el cual intervienen diversos parámetros como la temperatura de fusión del polímero, la presión de compactación y el tiempo para el montaje de probetas metalográficas mediante este proceso, se ubica en el modelo crítico propositivo ya que por medio de este se considera la intervención de los parámetros estudiados.

Mediante el modelo de paradigma crítico propositivo se relacionará la función causa efecto permitiendo establecer la solución al problema, dando paso a un desarrollo de fácil comprobación y comprensión.

El paradigma permite el cambio de ser necesario, debido a nuevas investigaciones realizadas en el ambiente científico e industrial, permitiendo agilizar procesos

acortando tiempos con una mejor organización y obteniendo resultados de calidad para el investigador.

### **2.3. Fundamentación legal**

La norma identificada que hace referencia a la presente investigación es la Norma ASTM E3 – 95 modificada por la E3 – 11 y (Práctica estándar para la preparación de muestras metalográficas) (Ver ANEXO I), D 695 (Ver ANEXO II), D 2240 (Ver ANEXO III).

#### **ASTM E3 – 11 Práctica estándar para la preparación de muestras metalográficas**

Que:

En el numeral **9. Montaje del Espécimen.**

En el inciso **9.4 Montaje Plástico.**

El punto de la Norma 9.4.1. Los especímenes deben ser incrustados en plásticos para protegerlos del daño y proporcionar un formato uniforme para una preparación manual y automática. Este es el método más común para el montado del espécimen metalográfico. El montaje plástico más común, el montaje plástico puede ser dividido en dos clases: con presión y por moldeo.

El punto de la norma 9.4.3. Montaje por compresión.

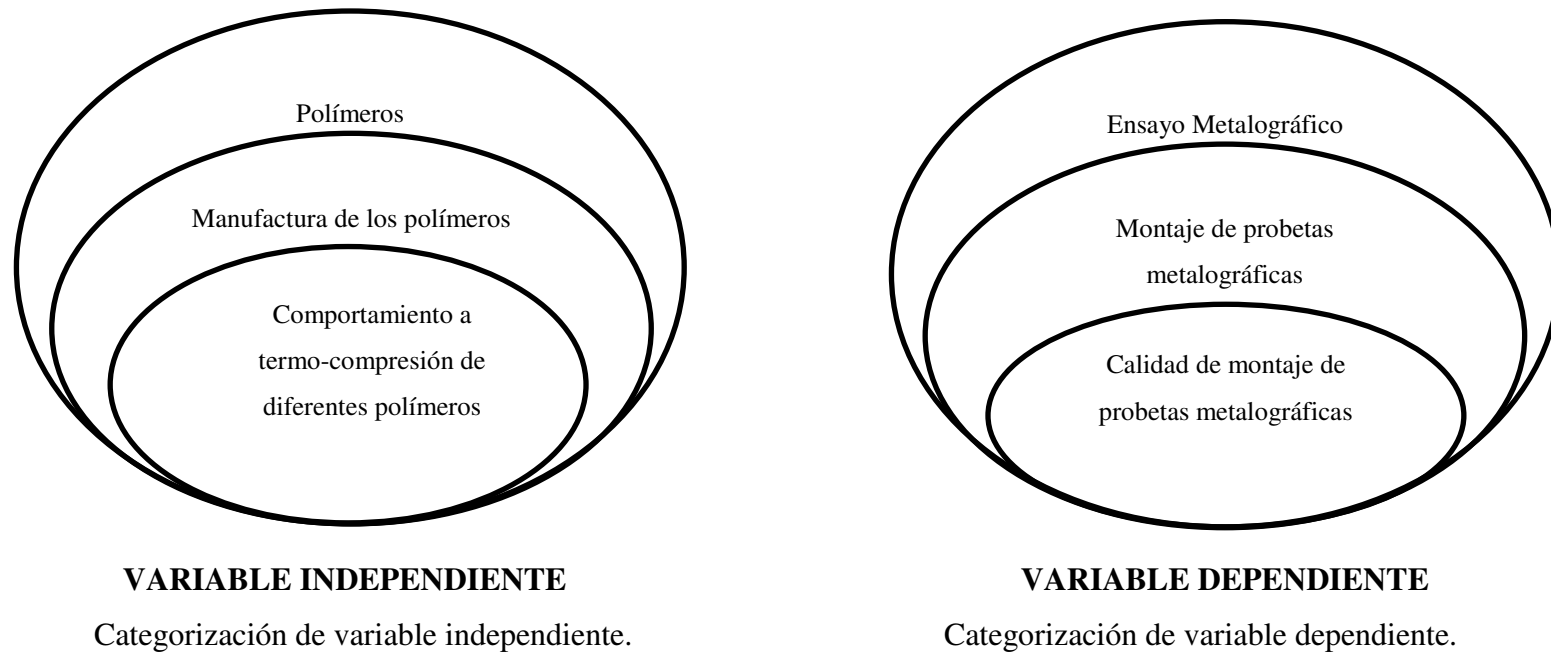
Se aprecia que existen cuatro tipos de montaje a compresión de plásticos usados predominantemente en el laboratorio metalográfico. Como nos muestra la tabla 2.1 de la misma Norma. Estos plásticos requieren el uso de monturas a presión proporcionando calor (140 – 180°C) y fuerza (27 – 30MPa) esto es 3900 a 4300 psi.....Los compuestos de termoplástico no se endurecen durante el enfriamiento y por consecuente no deberían ser expulsados cuando están calientes. Independientemente de la resina usada, los mejores resultados son obtenidos cuando el espécimen está limpio y seco, y cuando la montura es enfriada bajo altas presiones cerca de los 40°C después de la expulsión de la presión. Esto garantizará la formación de la brecha de contracción (ASTM E3-11).

**Tabla 2-1.** Características de los compuestos para el montaje a Termo-Compresión

<b>Acrílico</b>	Termoplástico, tiempo de curado de 10 a 15 min. Transparente, contracción moderada, baja resistencia a la abrasión, degradado por agentes de ataque en caliente.
<b>Ftalato de dialilo</b>	Termoestable, tiempo de cura de 5 a 10 min, opaco, contracción mínima, buena resistencia a agentes de ataque, moderada resistencia a la abrasión.
<b>Epoxi</b>	Termoestable, tiempo de curado de 5 a 10 minutos, opaco, muy baja contracción, buena resistencia a los agentes de ataque, alta resistencia a la abrasión
<b>Fenólico (Baquelita)</b>	Termoestable, tiempo de curado de 10 a 15 minutos, opaco, contracción moderada, degradado por agentes en caliente, resistencia moderada a la abrasión.

**Fuente:** Tomado de: Norma E3 – 11 y (Práctica estándar para la preparación de muestras metalográficas). Traducción por el autor

## 2.4. Categorías fundamentales



**Figura 2-1. Categorías fundamentales**

**Fuente:** Autor.

### 2.4.1. Polímeros

La palabra polímero se deriva del griego poli = mucho y meros = partes, por lo tanto debe entenderse como la unión repetida a través de enlaces covalentes de muchas unidades pequeñas llamadas monómeros.

En la naturaleza existen polímeros sintéticos y otros naturales como el algodón, formado por fibras de células. La seda y la lana son claros ejemplos. El hule de los árboles, la savia de los arbustos de Guayule, son también polímeros naturales importantes, la corteza del árbol de caucho y una especie de araucariaceae.

La mayor parte de los polímeros que usamos son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas derivados principalmente del petróleo. Los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen.

#### 2.4.1.1. Clasificación de los polímeros según el comportamiento térmico.

Se clasifican en termoplásticos y termoestables.

**Polímeros termoplásticos.** Los polímeros termoplásticos se ablandan al calentarse y pueden llegar a fundirse y al enfriarse puede ser de manera rápida o lenta se endurecen, siendo este un proceso totalmente reversible y puede repetirse. Estos materiales normalmente se fabrican bajo la aplicación de calor y presión.

**Polímeros termoplásticos más comunes.** Los polímeros termoplásticos son polímeros de cadenas largas que cuando se calientan se reblandecen y pueden moldearse por termo-compresión. Además que representan el 78-80% de consumo global. En la tabla 2.2 se detalla las abreviaturas y nombres completos de la mayoría de polímeros.

**Tabla 2-2.** Abreviaturas de los plásticos más comunes

ABREVIATURA	NOMBRE COMPLETO
ABS	Polimerizados acrilnitrilo-butadieno-estireno
CA	Acetato de celulosa
CAB	Acetobutirato de celulosa
CP	Propionato de celulosa
EPS	Poliestireno expandido
E-PVC	Polimerizado de PVC en emulsión
EVA	Copolímeros etileno- acetato de vinilo
HD – PE	Polietileno de alta densidad = polietileno de baja presión
LD – PE	Polietileno de baja densidad = polietileno de alta presión
MD – PE	Polietileno densidad media
MF	Resinas o masas de colada melanina – formaldehido
M – PVC	PVC polimerizado en masa
PA	Poliamida
PB	Polibuteno
PC	Policarbonato
PE	Polietileno
PETP	Tereftalato de polietilenglicol
PF	Resinas o masas de colada melanina – formaldehido
PMMA	Polimetil – metacrilato
PMP	Polimetil – penteno
POM	Poliacetal
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PSAN	Copolímeros estireno – acrilnitrilo (=SAN)
PTFE	Polietrafluoretileno
PVAC	Acetato de polivinilo
PVCAC	Copolímeros cloruro – acetato de vinilo
PVDC	Cloruro de polivinilideno
PUR	Poliuretanos
SAN	Copolímeros estireno acrilnitrilo
SB	Copolímeros estireno – butadieno – poliestireno antichoque
S-PVC	PVC polimerizado en suspensión
UF	Resinas o masas de moldeo de urea – formaldehido
PET	Polietileno tereftalato

**Fuente:** Cornish Álvarez, M. L., *El ABC de los polímeros*, 1997 p. 20

**Polimetil-metacrilato PMMA.** Llamado también Plexiglás o lucita: Es un plástico transparente e incoloro como el vidrio, de gran dureza, resistente a la rotura y a los productos químicos. Una plancha de 1 cm de espesor transmite el 92% de la luz que recibe. Se usa en ventanas de aviones, anuncios publicitarios, cristales de los coches, DVD, CD, acuarios, lentes intraoculares (operaciones de cataratas) y en general como sustituto del vidrio.

El PMMA puede reemplazar en ciertas aplicaciones a otros plásticos como es el policarbonato (PC) o el poliestireno (PS), pero estos no son tan transparentes como lo es el PMMA, además que el acrílico es más resistente a la intemperie, al rayado, y

tiene gran estabilidad en color y transparencia, puede reemplazar fácilmente al vidrio con la ventaja de ser más resistente y más liviano y por lo transparente incluso en grandes espesores.

**Propiedades del PMMA.** Entre las propiedades Físico - Químicas del polimetilmetacrilato se destacan:

- Más ligero en comparación con el vidrio aproximadamente la mitad, con una densidad de unos  $1,18 \text{ g/cm}^3$  a  $25^\circ\text{C}$ , es sólo un poco más denso respecto que el agua.
- Resistente a la intemperie y a los rayos ultravioleta. No hay un envejecimiento apreciable en diez años de exposición exterior.
- Excelente aislante térmico y acústico.
- Su dureza es similar a la del aluminio: se raya fácilmente con cualquier objeto metálico, por lo que se suele cubrir con una capa de polietileno para evitar que se raye durante el transporte especialmente en láminas.
- Se combustiona fácilmente es decir no es auto extingible, no se apaga al ser retirado del fuego. Sus gases tienen olor afrutado y cruje al arder. No produce ningún gas tóxico al arder por lo que se puede considerar un producto muy seguro para elementos próximos a las personas al igual que la madera.
- Facilidad de mecanización y moldeo.
- Punto de fusión,  $160^\circ\text{C}$
- Su resistencia a la rotura es siete veces superior a la del vidrio a igualdad de espesores.

**Poliestireno cristal y choque.** El poliestireno (PS) es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno. Existen cuatro tipos principales: el PS cristal, que es transparente, rígido y quebradizo; el poliestireno de alto impacto, resistente y opaco, el poliestireno expandido, muy ligero, y el poliestireno extrusionado, similar al expandido pero más denso e impermeable. Las aplicaciones principales del PS de alto impacto (PS choque) y el PS cristal son la fabricación de



envases mediante extrusión-termoformado, y de objetos diversos mediante moldeo por inyección. La forma expandida y extruida se emplean principalmente como aislantes térmicos en construcción.

El producto de la polimerización del estireno puro se denomina poliestireno cristal o poliestireno de uso general (GPPS, siglas en inglés). Es un sólido transparente, duro y frágil. Es vítreo por debajo de 100°C. Por encima de esta temperatura es fácilmente moldeable y puede dársele múltiples formas. (Propiedades del poliestireno cristal y choque) (Soberón, 2014).

**Tabla 2-3.** Propiedades mecánicas del PS Cristal y PS Choque.

<b>Propiedad</b>	<b>PS cristal</b>	<b>PS choque</b>	<b>Comentarios</b>
<b>Módulo elástico en tracción (GPa.)</b>	3,0 a 3,4	2,0 a 2,5	
<b>Módulo de flexión (GPa)</b>	3,0 a 3,4	1,6 a 2,9	El PS choque es mucho más flexible que el cristal y similar al ABS.
<b>Resistencia al impacto Charpy (kJ/m<sup>2</sup>)</b>	2	3 a 12	El PS cristal es el menos resistente de todos los termoplásticos; el PS choque es intermedio.
<b>Dureza Shore D</b>	85 a 90	60 a 75	El PS cristal es bastante duro, similar al policarbonato. El PS choque es similar al polipropileno.

**Fuente.** (Escuela de Ingenierías Industriales, 2015)

**Aplicaciones.** Las ventajas principales del poliestireno son su facilidad de uso y su costo relativamente bajo. Sus principales desventajas son su baja resistencia a la alta temperatura se deforma a menos de 100 °C.

Estas ventajas y desventajas determinan las aplicaciones de los distintos tipos de poliestireno:

El poliestireno choque se utiliza principalmente en la fabricación de objetos mediante moldeo por inyección. Algunos ejemplos: carcasas de televisores, impresoras, puertas e interiores de frigoríficos, maquinillas de afeitarse desechables, juguetes.

Según las aplicaciones se le pueden añadir aditivos como por ejemplo sustancias ignífugas o colorantes.

El poliestireno cristal se utiliza también en moldeo por inyección allí donde la transparencia y el bajo coste son importantes. Ejemplos: cajas de CD, perchas, cajas para huevos.

En Europa, la mayor aplicación del poliestireno es la elaboración de envases desechables de productos lácteos mediante extrusión-termoformado. En estos casos se suele utilizar una mezcla de choque y de cristal, en proporción variable según se desee privilegiar la resistencia mecánica o la transparencia.

**Polímeros termoestables.** Estos polímeros se endurecen al calentarse y no se pueden llegar a fundir, al enfriar continúan en la forma que adoptaron al calentarse y no es un proceso reversible. Por lo general estos polímeros son más duros y resistentes pero al mismo tiempo más frágiles, además tienen mejor estabilidad dimensional respecto a los termoplásticos.

**Fenólicos.** El fenol-formaldehído es el más importante de los polímeros fenólicos; empezó a comercializarse alrededor de 1990 con el nombre comercial de baquelita. Casi siempre se combina con rellenos tales como el aserrín, las fibras de celulosa y algunos minerales, cuando se emplea como material de moldeo. La característica de ser frágil, posee buena estabilidad térmica, química y dimensional. Su capacidad de aceptar colorantes es limitada; sólo está disponible en colores oscuros. Los productos moldeados constituyen únicamente cerca del 10% del total de fenoles que se usan. Otras de las aplicaciones incluyen adhesivos para madera laminada triplex, tarjetas de circuitos impresos, contracubiertas y materiales de unión para frenos y ruedas abrasivas.

**Baquelita.** La baquelita encuentra su principal aplicación en los sectores que requieren un buen comportamiento frente al fuego y altas temperaturas, interiores de medios de transporte, aviones o trenes. Utilizadas también como recubrimiento para adhesivos, como solvente, carga, en la producción de bloques, pigmentos, plastificantes, endurecedores, resinas de intercambio iónico, resinas de moldeo, resinas para recubrimientos y barnices, aditivos, carbón, papel, aglomerados para madera, polvo abrasivo, etc.

Entre las principales aplicaciones que se fabrican están: barras, arandelas, cuñas, bridas, empaquetaduras, cojinetes, engranajes, tubulares de longitud máx. de 1.45m y kit de empaquetaduras dieléctricas para bridas hasta 30" de diámetro, diseñadas para aislar eléctricamente las tuberías y evitar la corrosión galvánica que se produce en ellas. Se fabrican en dimensiones estándar o de acuerdo a sus necesidades.

#### **2.4.1.2. Clasificación de los polímeros según la aplicación.**

Se clasifican en plásticos, fibras sintéticas, elastómeros, recubrimientos y adhesivos.

#### **2.4.2. Manufactura de polímeros**

Existen varios tipos de procesamiento de polímeros de acuerdo a la complejidad de fabricación.

**Inyección.** Que consiste en introducir el plástico granulado dentro de un cilindro, donde se calienta en un mecanismo de tornillo sin fin el cual actúa igual que un émbolo de jeringuilla al mismo tiempo que a la salida se encuentra el plástico en estado líquido y se lo inyecta a alta presión en el interior del molde.

**Extrusión.** Es más utilizado para la fabricación de perfiles ya que el material es empujado a través de un cilindro mediante un tornillo sin fin que acaba en una boquilla que puede ser de diferentes formas, de acuerdo al tipo de perfil se pueden obtener tubería de varios espesores diámetros y longitudes indefinidas.

**Termo-compresión.** Es el método en el cual se basa ésta investigación el cual permite adaptar la forma exterior del molde para obligar al material plástico ocupar completamente su cavidad mediante la acción que ejerce ya sea el macho del molde o el émbolo dentro de un cilindro. Al dar calor y presión el material que está dentro se reblandece favoreciendo su fluidez en caso de materiales termoplásticos, para termoestables se mantiene el calor y presión hasta que reaccione y se endurezca adoptando la forma del molde para proceder a enfriar.

**Soplado.** Este proceso se utiliza para la fabricación de la mayoría de tipos de envases, botellas, fundas plásticas, recipientes en general, utilizando gas a alta presión el polímero que ingresa al molde se expande ocupando únicamente las paredes del molde con una fina capa de material.

**Termoformado.** Proceso utilizado para dar forma a todo tipo de láminas plásticas, pueden conformarse sobre un molde para producir productos tan diversos como empaque para huevo y paneles decorativos utilizando básicamente matrices con vacío o presión de aire (Askeland, Fulay, & Wright, 2013).

**Calandrado.** En una calandria se vierte plástico fundido en un sistema de rodillos que tienen entre si una pequeña abertura, los rodillos que pueden tener un perfil en alto relieve en su parte exterior presionan el material formando una hoja delgada de polímero para fabricar cortinas o losetas generalmente (Askeland, et al, sf).

**Hilado.** Proceso que permite crear filamentos, fibras e hilos al hacer pasar el polímero termoplástico por un dado que tiene gran cantidad de pequeñas perforaciones, a este dado se lo conoce como hilador ya que puede girar para producir hilo trenzado de diferentes materiales como el nylon, también el hilo puede ser estirado posteriormente con la finalidad de alinear las cadenas de polímeros paralelamente al eje del hilo, este proceso aumenta la resistencia de las fibra (Askeland, et al, sf).

**Colado.** Un proceso de colado especial es el moldeo centrífugo en el que el plástico fundido se vierte en un molde que gira sobre dos ejes, la fuerza centrífuga que empuja al polímero contra las paredes del molde produciendo una forma de pared delgada (Askeland, et al, 2013).

**Moldeo por transferencia.** En este proceso de moldeo se utiliza una doble cámara para la transferencia de polímeros termoestables, el polímero se calienta a baja presión en una de las cámaras, después de fundirse se inyecta en la cavidad de la cámara adyacente (Askeland, et al, 2013).

### **2.4.3. Termo-compresión de polímeros**

El moldeo por termo-compresión es uno de los métodos más usados para producciones unitarias y pequeñas series. Este procedimiento es indicado para moldear resinas denominadas duroplásticos, que se obtiene en forma de polvo o granulado, para lo cual el molde es previamente elaborado según la pieza a conformar, por lo general en macho y hembra, se calienta, se le aplica el desmoldante y se deposita en ella la cantidad precisa de polímero.

Luego de cerrar el molde el polímero se distribuye en su interior, se aplica calor y presión a valores de 140°C – 170°C y 100 Bar o más (1500 psi). El calor y la presión conforman el plástico en toda su extensión, el material polimérico puede estar en la forma de gránulos sueltos. Con la finalidad de endurecer la resina a moldear, polimerizar o curar, se procede a enfriar el molde y se extrae la pieza con una de los elementos móviles de la prensa de montaje que ejerce presión. La polimerización o curado es un cambio químico permanente, dentro de la forma del molde. Para obtener el calor necesario se recurre a diversos procedimientos como resistencias eléctricas, luz infrarroja o microondas, vapor o aceite, la presión que se aplica se obtiene por medio de prensas mecánicas o hidráulicas. El tiempo que se aplica el calor y la presión al molde cerrado, está en función del diseño de la pieza y de la composición del plástico. El procedimiento se aplica para producir piezas simples y de revolución como tazas, platos, cajas de radio, llaves de luz, tubos, etc (Soberón, 2014).

Las probetas metalográficas son piezas simples de revolución tienen la forma de un disco compacto el cual se conforma agregando primero la muestra metalográfica del metal en estudio, luego el polvo granulado o pellets del polímero aplicando temperatura y presión por un tiempo determinado para luego enfriarse completamente y retirar la pieza a todo esto lo llamamos montaje de probetas realizado en una prensa de laboratorio.

Consiste en presionar un émbolo dentro de una camisa tipo cilindro pistón y en medio va el material polimérico que exteriormente se emitirá calor para elevar su temperatura y éste adoptará su forma interior que generalmente es cilíndrica.

**Recomendaciones del moldeo por compresión.** Se deben tomar en cuenta varios factores:

El molde debe estar bien proyectado, es decir, no debe tener socavados, con una salida suficiente en los lados y otras características similares. El ciclo de moldeo debe ser el más sencillo. Usar la cantidad precisa de material para evitar usar energía innecesaria. La velocidad del proceso depende de la rapidez para calentar y enfriar el molde. Excesos de tiempo de calentamiento, presiones altas harán retardar el proceso y puede producirse marcas debidas al calor haciendo salir el exceso de material.

## **Ventajas del Moldeo por Compresión**

La contracción del material es menor en este tipo de procesos debido a que se escoge materiales rígidos manteniéndose así la estabilidad dimensional.

La geometría de los moldes para el proceso a termo-compresión es más sencilla por cuanto abarata costos.

Únicamente se agrega la cantidad precisa de material a utilizar y no quedan rebabas luego del desmolde.

La duración del ciclo de montaje de piezas moldeadas por compresión pueden ser menores comparadas con piezas de moldeo por inyección.

## **Desventajas del Moldeo por Compresión**

Generalmente el material debe ser cargado por un operador.

Las piezas a conformar deben tener geometría sencilla, caras planas.

Las aristas o filos de las probetas luego del desmontaje podrían representar un peligro de cortaduras para el operador.

### **2.4.4. Ensayo metalográfico**

La metalografía es la ciencia que trata la composición, estructura y propiedades de los metales y sus diferentes aleaciones o combinaciones con otros materiales y sin duda el ensayo metalográfico es lo más importante debido a que un metalógrafo experimentado aporta con abundante información después de preparar correctamente una probeta metalográfica y consecuentemente observar su microestructura.

El ensayo metalográfico permite obtener datos como el tamaño de grano del tipo de estructura metalográfica que posea dicha composición del material, tamaño distribución y forma de las fases, permite determinar inclusiones el porcentaje de inclusiones no metálicas, heterogeneidades, y segregaciones que tan profundamente pueden modificar las propiedades y el comportamiento de un metal.

## **Secuencia completa para la preparación de una probeta metalográfica.**

- Selección de muestras representativas a analizar microscópicamente.
- Corte de la sección que ha de tomarse como probeta en tamaños pequeños, mediante sierra mecánica o manual o se la puede romper con un martillo en caso de aleaciones frágiles y para materiales extremadamente duros se puede emplear discos abrasivos manteniendo un enfriamiento permanente de la muestra en la sección que se corta.
- El montaje de probetas metalográficas es necesario cuando las muestras son pequeñas de una forma que no permite un fácil manejo en las operaciones de desbaste y pulido, los hay en dos tipos montaje en frío y montaje en caliente de acuerdo al material de la muestra principalmente (Paredes, et al, 2006).

### **2.4.5. Montaje de probetas metalográficas**

Generalmente este es el siguiente paso dentro del ensayo metalográfico después de la extracción de la muestra, pero no deja ser un paso muy importante ya que de éste depende el correcto desenvolvimiento hasta llegar a obtener los resultados deseados de todo el procedimiento que involucra realizar el análisis de la microestructura de la muestra metalográfica.

En selectos casos en los que la muestra tiene un tamaño considerable que facilita su manipulación durante la preparación se podría llegar a eximir de realizar el montaje, pero para la mayoría de los casos las razones para obtener una muestra pequeña son: para reducir el tiempo de desbaste y pulido al tener un área menor de trabajo, y por qué no se cuenta con una muestra suficientemente grande ya que en si todo el cuerpo tiene una geometría que al extraer una muestra de ella por si sola se dificulta su manipulación como es en el caso de láminas o alambres y es entonces cuando el montaje en caliente se hace indispensable siempre y cuando las temperaturas de trabajo con los polímeros de montaje no interfieran de manera importante en la microestructura de la muestra que se desea analizar, o cuando no se desea dañar completamente la pieza de análisis, el estaño por ejemplo puede llegar a fundirse mientras realizamos el montaje en caliente únicamente en estos casos puede escogerse el montaje en frío como método alternativo.

El montaje de probetas metalográficas en caliente tiene varias ventajas como se puede mencionar el tiempo de preparación de la muestra, se requieren pequeñas

cantidades de energía, un solo elemento polimérico a utilizar pero obligatoriamente necesita poseer el investigador una prensa a termo-compresión para dicho montaje.

Los materiales poliméricos termoplásticos como la lucita o lucite por su nombre comercial (kydex, orlon, plexiglás) o el acrílico común se llama polimetil-metacrilato (polimetacrilato de metilo) PMMA es uno de los materiales, polímero termoplástico que por norma es usado en los laboratorios de metalurgia de las industrias y universidades, este material tiene la propiedad de ser rígido de una dureza Shore D que alcanza un valor de 80 Shore D ideal para nuestro procedimiento es fácil de moldear y se caracteriza por ser transparente siendo al mismo tiempo frágil pero esto no afecta al presente estudio, y la baquelita que es resina fenólica termoestable (Soberón, 2014).

Al ser un material termoplástico el PMMA utilizado en el montaje de las probetas metalográficas contribuye a la reutilización o reciclaje de este material pudiendo volverse a moldear una vez utilizado con una correcta combinación de temperatura y presión con valores que oscilan entre (140°C – 165°C) y (2500 – 3500 psi) (Balart, López, & García, 2004).

#### **2.4.5.1. Procedimiento de Montaje**

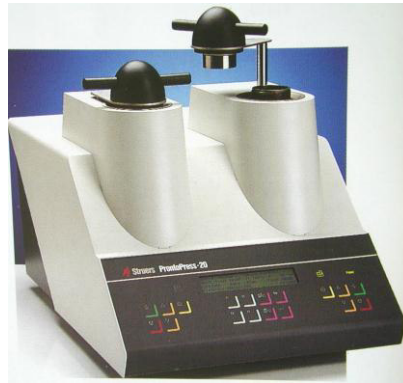
La muestra se coloca en una prensa ya sea manual o automática que generalmente es hidráulica, luego se añade el polímero termoplástico (fig. 2.1) que para el presente estudio se utilizará cuatro materiales: PMMA (Lucita) resina fenólica (baquelita) Poliestireno cristal y poliestireno choque (PS Cristal y PS Choque) respectivamente a continuación se somete a calor y presión llegando a la temperatura y presión óptimas para el moldeo a compresión de la probeta y para posteriormente enfriarla manteniendo la presión antes de sacarla del molde de la prensa.





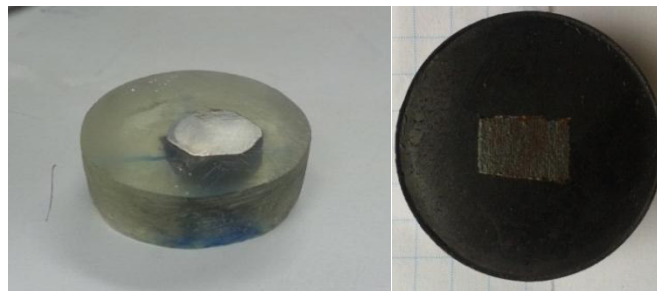
**Figura 2-2.** Polímeros y resinas

**Fuente:** Struers.



**Figura 2-3.** Prensa para el montaje en caliente de probetas metalográficas.

**Fuente:** Struers – ProntoPress-20



**Figura 2-4.** Espécimen encapsulado en caliente (probeta metalográfica).

**Fuente:** Autor.

**Pulido mecánico.** Consiste en una serie de pasos que permiten obtener una probeta completamente preparada para su estudio metalográfico. El pulido grueso consiste en aminorar rayaduras bien marcadas producto del corte o hechas en el montaje de la muestra, pulido intermedio que consiste en igualar toda la probeta en un banco de

lijas de diferente numeración empezando de menor a mayor siempre realizando todo el proceso con una presión de la probeta hacia la superficie e contacto relativamente baja, y el pulido fino o final se realiza de la misma forma llevando la probeta en vaiven y al cambiar de papel de lija siempre tratando de que las rayas marcadas por el papel de lija anterior queden perpendiculares a éste. Y como pulido o desbaste final se pasa la probeta sobre un plato cubierto de paño que gira a 400 a 500 rpm para eliminar completamente las rayaduras dejadas por el desbaste fino siempre lubricando con agua mezclada con polvos de alúmina o productos equivalentes. Se la lava con agua clara y se deja secar.

**Ataque químico.** Consiste en someter a la probeta a la acción química de un reactivo apropiado en unas condiciones cuidadosamente controladas tal es el caso de Ácido Nítrico conocido como Nital que se utiliza para atacar químicamente a hierros y aceros, etc.

**Análisis microscópico.** Una vez que se ha obtenido una muestra con un brillo similar a un espejo se procede a visualizar en un microscopio de barrido electrónico el cual permitirá observar imágenes ideales de las distintas estructuras granulares que poseen los metales en aumentos que van desde 10X, 50X, 400X, etc según lo desee el observador.

#### **2.4.6. Calidad en el montaje de probetas metalográficas**

Todos hemos usado términos como “mala calidad” o “alta calidad” para describir determinado producto de alguna tienda o productos de determinada fábrica.

Según (Kalpakjian & Schmid, 2002, p.972) la calidad es: “La totalidad de las propiedades y características que inciden sobre la capacidad del producto para satisfacer determinada necesidad”

Para describir la calidad de los productos hace referencia a distintos parámetros enfocados a la satisfacción del cliente, tipo de material con alta resistencia mecánica, resistencia al desgaste, a la corrosión, etc., el objeto con las propiedades adecuadas para cada tipo de uso durará más que los hechos con menores prestaciones a las requeridas o de menor calidad para un mismo producto, debemos saber que para el fabricante producir con normas de calidad no siempre le costará más.

“Estas normas cubren algunos parámetros, como dimensiones, acabado superficial, tolerancias, composición y color, así como propiedades mecánicas, físicas y químicas. Además, las normas suelen escribirse para asegurar un ensamble correcto, como componentes intercambiables y sin defectos, para obtener un producto que funcione como querían originalmente sus diseñadores” (Kalpakjian, et al, 2002, p.973).

#### **2.4.6.1. Ensayos de compresión**

La resistencia a la compresión es la fuerza necesaria para aplastar un material, y se define mediante la siguiente expresión:

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{\text{fuerza (Newton)}}{\text{área de la sección transversal (m}^2\text{)}} \quad \text{Ec 2.1}$$

“La resistencia a la compresión se puede calcular dividiendo la fuerza de compresión máxima en Newtons por el área del material en metros cuadrados; así, el resultado se obtiene en pascales” (Seymour & Carraher, 2002, p.133).

La resistencia a la compresión, o capacidad de una muestra para resistir cargas de aplastamiento, se mide aplastando una muestra cilíndrica según la norma ASTM-D695 (Seymour, et al, 2002).

#### **2.4.6.2. Dureza Shore D**

El método Shore consiste en determinar el rebote que sufre un percutor al chocar contra la superficie de ensayo, cuando se lo deja caer desde una altura determinada. El percutor utilizado es de acero duro de forma cilíndrica y punta redondeada de muy buena terminación, la que también puede ser de diamante.

El percutor cuyo peso es de 3 a 7 gr se deja caer desde una altura de 250 mm y la lectura del rebote se hace directamente en una escala de 140 divisiones en la que un rebote que alcanza 100 divisiones corresponde a un acero templado martensítico para herramientas.

#### **2.4.6.3. Parámetros fundamentales de la rugosidad superficial.**

Entre los parámetros que más se emplean están:

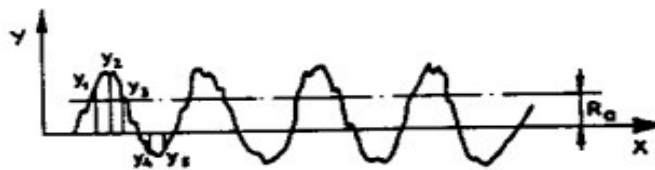
**Desviación media aritmética del perfil. Ra.** Media aritmética de los valores absolutos de las desviaciones del perfil, en los límites de la longitud básica y respecto a la línea media.

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad \text{Ec 2.2.}$$

o también

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n}{n} \quad \text{Ec.2.3.}$$

como se puede observar en la figura 2.4.



**Figura 2-5.** Perfil de rugosidad del material

**Fuente.** [www.academia.edu](http://www.academia.edu)

De manera gráfica, Ra representa el lado del rectángulo que tiene la misma área que las irregularidades del perfil. Es muy importante determinar la rugosidad para evaluar la calidad del proceso de fabricación y acabado de una pieza, además indica el desgaste de la herramienta y las muelas en un proceso de arranque de viruta, etc.

Las calidades superficiales correspondientes a los números de grado de rugosidad N-12, 11 Y 10 corresponden a superficies originales no sometidas a mecanizado o a superficies de desbaste. Las calidades N-9, 8, 7 Y 6 corresponden a las obtenidas en los mecanizados denominados directos tales como el torneado, mandrinado, fresado, etc. Mientras que las calidades N-5, 4, 3, 2, 1 y superiores corresponden a superficies especialmente acabadas, obtenidas generalmente mediante mecanizados de tipo abrasivo, rectificado, alisado, esmerilado, superacabado, etc (Academia, 2011).

**Tabla 2-4.** Valores de  $l_c$  para la rugosidad en función del proceso de fabricación.

Proceso de acabado	Gama aprox. de valores Ra		Valores de longitud de corte apropiados		
	$\mu\text{m}$	$\mu\text{pulg}$	0,25mm 0,01in	0,8mm 0,03in	2,5mm 0,1in
Superacabado	0,05-0,2	2-8	/	/	
Lapeado	0,05-0,4	2-16	/	/	
Bruñido	0,1-0,8	4-32	/	/	
Rectificado	0,1-1,6	4-63	/	/	/
Torneado con diamante	0,1-0,4	4-16	/	/	
Torneado	0,4-6,3	16-250		/	/
Mandrinado	0,4-6,3	16-250		/	/
Estirado	0,8-3,2	32-125		/	/
Brochado	0,8-3,2	32-125		/	/
Extruido	0,8-3,2	32-125		/	/
Fresado	0,8-6,3	32-250		/	/
Conformado	1,6-12,5	63-500		/	/

Fuente: ( Universidad del País Vasco, 2011)

**Tabla 2-5** Clase de Rugosidad Superficial.

Valor de rugosidad Ra en $\mu\text{m}$	Clase de rugosidad
50	N12
25	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1

Fuente: Perez, 2015

## 2.5. Hipótesis

Con el montaje a termo-compresión de probetas metalográficas mejorará la calidad en un 5% bajo la aplicación de presión y temperatura a polímeros.

## 2.6. Señalamiento de variables

### Variable Independiente

Proceso de termo-compresión de materiales poliméricos.

### Variable Dependiente:

Calidad de montaje de probetas metalográficas.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Enfoque**

El trabajo de investigación tiene un enfoque cuali-cuantitativo ya que está relacionado con técnicas acordes a los resultados del tema de investigación y recolección de información, en cambio en lo que concierne a análisis de presiones, temperaturas y tiempos daremos un enfoque cuantitativo, de acuerdo a las necesidades de dar un valor significativo para una mejor comprensión en los resultados.

#### **3.2. Modalidad básica de la investigación**

La presente investigación se llevó a cabo bajo la modalidad bibliográfica debido a que se obtuvo información de diferentes publicaciones y normativas para el desarrollo del estudio del proceso de termo-compresión, las cuales fueron necesarias para la presente investigación hasta el punto de decir que son un pilar fundamental para la investigación y su correcto desarrollo, tomando definiciones y conceptos de diferentes autores.

La modalidad de laboratorio es otra de las modalidades a aplicarse en la investigación, al estudiar los factores que inciden en el comportamiento de polímeros y es necesario llevar a cabo observaciones que nos permitirán mejorar su apariencia, manipulación, etc.

La implementación correcta de las modalidades antes mencionadas dio como resultado un estudio minucioso del problema, y favoreció realizar el estudio, además acortar el tiempo de estudio gracias a las características de cada una de ellas.

La modalidad experimental dio la posibilidad de verificación de la variable independiente, que se la realizó en el laboratorio de materiales para obtener resultados que comprueben la hipótesis.

### 3.3. Niveles de investigación

#### 3.3.1. Por asociación de variables

Se utilizó este tipo de investigación por cuanto se desea conocer la relación que hay entre las variables y cómo influyen entre sí.

#### 3.3.2. Descriptivo

Se adoptó un nivel descriptivo porque se necesitó describir cada una de las propiedades a analizar y las características físicas que presente cada una de las probetas.

### 3.4. Población y muestra

**Población:** Polímeros termoplásticos y polímeros termoestables

**Muestra:** Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se realizó una estimación del tamaño de la muestra mediante la tabla siguiente la cual podrá ser modificada durante la investigación ya que se trata de una investigación experimental:

**Tabla 3-1.** Estimación del número mínimo de probetas necesarias para el estudio

<b>Baquelita</b>	<b>Lucita</b>	<b>PS Cristal</b>	<b>PS Choque</b>
<b>Temperatura: 190°C</b>	<b>Temperatura: 270°C</b>	<b>Temperatura: 300°C</b>	<b>Temperatura: 270°C</b>
<b>Presión: 1000 psi</b>	<b>Presión: 1500 psi</b>	<b>Presión: 2000 psi</b>	<b>Presión: 1000 psi</b>
Probeta 1	Probeta 7	Probeta 13	Probeta 19
Probeta 2	Probeta 8	Probeta 14	Probeta 20
Probeta 3	Probeta 9	Probeta 15	Probeta 21
Probeta 4	Probeta 10	Probeta 16	Probeta 22
Probeta 5	Probeta 11	Probeta 17	Probeta 23
Probeta 6	Probeta 12	Probeta 18	Probeta 24

**Fuente.** Autor

Se llegó a estimar el número de 6 probetas a ser montadas en el presente estudio para cada material poliméricos cada uno con un valor de presión de compactación y con su respectivo valor de temperatura de moldeo parámetros que se aplicaron simultáneamente durante el montaje a termo-compresión, se tomó en cuenta el tiempo de curado para cada probeta y estimó el óptimo para el presente estudio, a las probetas se las analizó de manera minuciosa las propiedades como dureza y resistencia a la compresión y rugosidad además se llenaron fichas técnicas con los valores característicos y descripción física que presentaron cada una de las probetas ya sea de rugosidad, apariencia, porosidad, fisuras o desmoronamientos.



### 3.5. Operacionalización de variables

Tabla 3.2. Variable Independiente: Proceso de termo-compresión de materiales poliméricos.

CONCEPTO	CATEGORÍA DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICA E INSTRUMENTOS
El proceso a termo-compresión consiste en que una vez limpio el molde se colocan las inserciones metálicas y se introduce el material de moldeo en forma de pellets, se cierra el molde en caliente y se aplica presión manteniendo un tiempo necesario hasta que el material haya curado totalmente	Polímeros	Tipos de polímeros	¿Qué tipo de polímeros se utilizarán?	Observación de laboratorio
	Proceso a termo-compresión	Presiones	¿Cuál es la compresión adecuada?	Experimentación Registro de datos
	Parámetros	Temperaturas	¿Qué temperaturas se usará para cada polímero?	Experimentación Registro de datos

Fuente. Autor.

**Tabla 3.3. VARIABLE DEPENDIENTE: Calidad de montaje de probetas metalográficas**

CONCEPTO	CATEGORÍA DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICA E INSTRUMENTOS
<p>La Norma ISO 8402 define calidad como el conjunto de características de una entidad, que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades establecidas implícitas</p>	<p>Propiedades mecánicas</p> <p>Calidad</p>	<p>Dureza Shore D</p> <p>Resistencia a la compresión</p> <p>Módulo de compresión</p> <p>Acabado Superficial</p> <p>Tipos de discontinuidades</p>	<p>80 Shore D.</p> <p>700 – 1200 Kg/cm<sup>2</sup></p> <p>26000-32000 Kg/cm<sup>2</sup></p> <p>Rugosidad</p> <p>Apariencia</p> <p>Poros</p> <p>Fisuras</p> <p>Desmoronamientos</p>	<p>ASTM D695</p> <p>(VER ANEXO II)</p> <p>Fichas técnicas</p> <p>Fichas técnicas</p>

**Fuente. Autor.**

### **3.6. Plan de recolección de información.**

Durante el desarrollo de la presente investigación se realizaron estudios de tipo bibliográfico y experimental, los cuales se desarrollaron en la biblioteca y laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, se recopiló también información de bibliotecas virtuales para obtener datos técnicos de los polímeros, los mismos que aportan en el buen desarrollo del proyecto.

En el trabajo investigativo se obtendrán datos reales realizando montajes de probetas con el polímero planteado, el mismo que se registró de forma práctica; y se notificó en formatos establecidos.

### **3.7. Plan de procesamiento de la información**

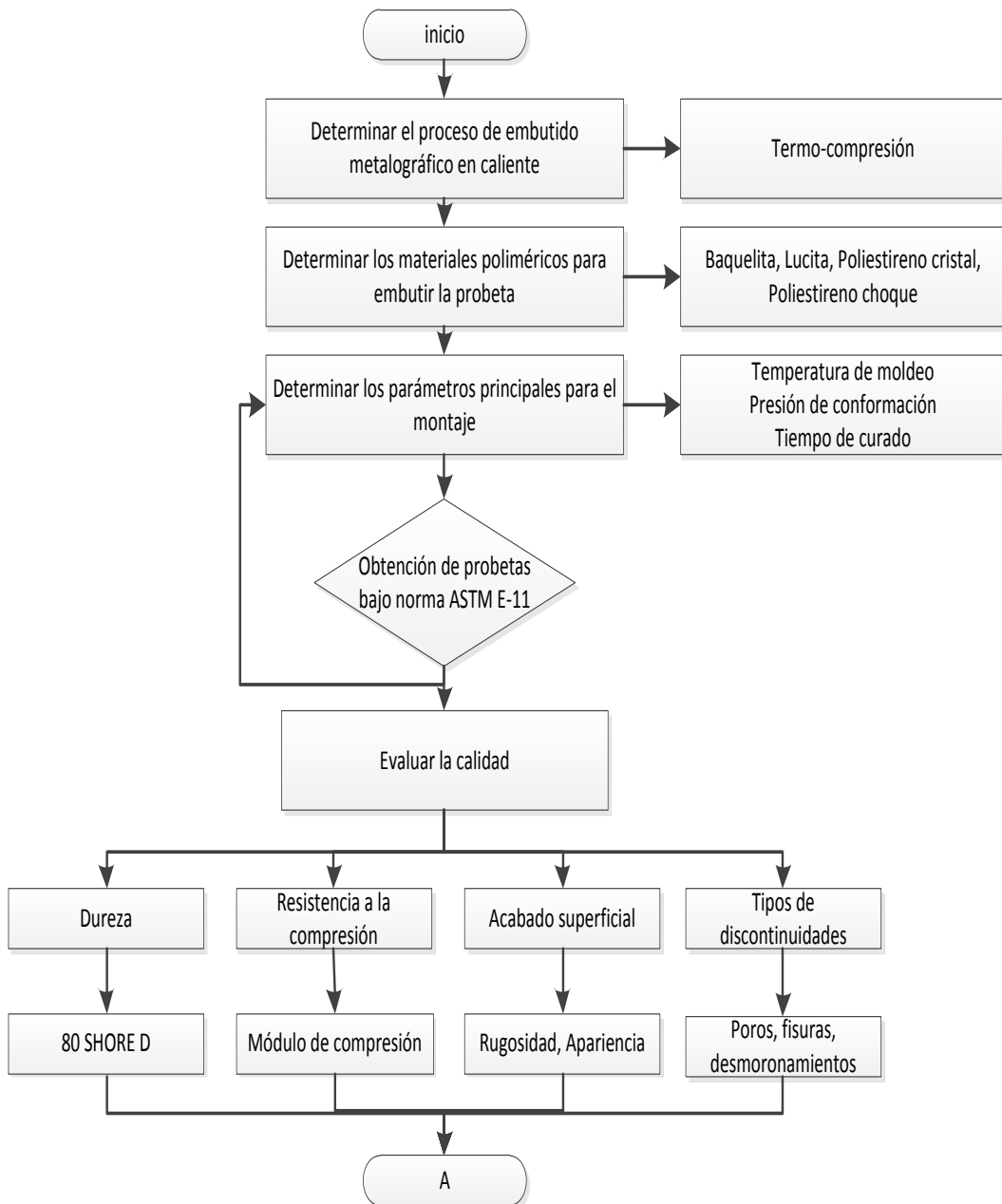
- Revisión y selección adecuada de la información recogida.
- Realizar y analizar los ensayos registrando los datos obtenidos.
- Representación con fotografías de los resultados.
- Análisis de los resultados.
- Interpretación de los resultados.
- Conclusiones y recomendaciones

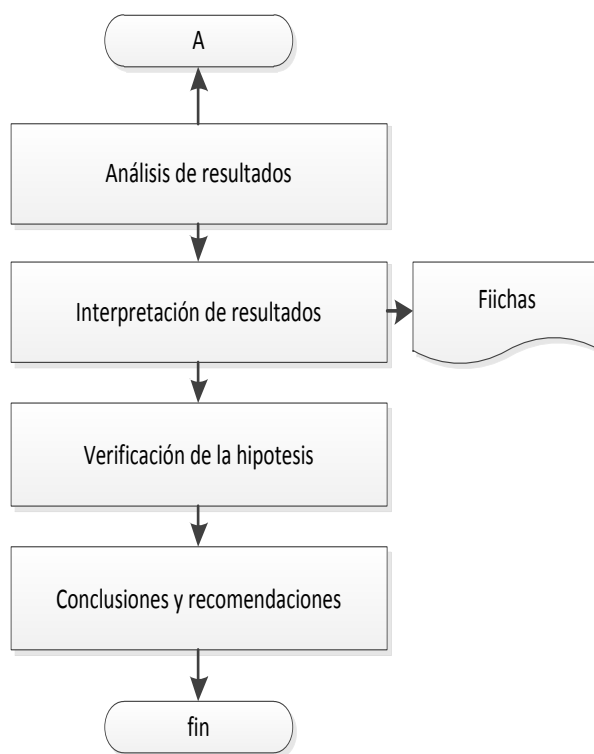
## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

#### 4.1. Análisis de resultados.

El siguiente diagrama de flujo muestra el proceso de obtención de resultados el mismo que fue adoptado al Estudio del comportamiento a termo-compresión de diferentes polímeros y su incidencia en la calidad del montaje de probetas metalográficas en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica.





**Figura 4-1.** Diagrama de flujo del proceso a termo-compresión:

**Fuente.** Autor.

#### **4.1.1. Determinar el proceso de embutido metalográfico en caliente**

El proceso mayormente utilizado en los laboratorios de materiales es el proceso de termo-compresión que consisten en agregar material polímero sea éste termoplástico o termoestable y compactar dentro de una cápsula sometiendo a compresión y temperatura para el curado, obteniéndose formas geométricas simples siendo las más utilizadas la forma cilíndrica.

#### **4.1.2. Determinar los materiales poliméricos para embutir la probeta metalográfica**

Dentro de los materiales polímeros termoplásticos que se utilizaron para la investigación se detallan: Lucita que es un material acrílico PMMA siendo bastante utilizado para el montaje de probetas, poliestireno cristal y poliestireno choque como materiales de alternativos a los tradicionales.

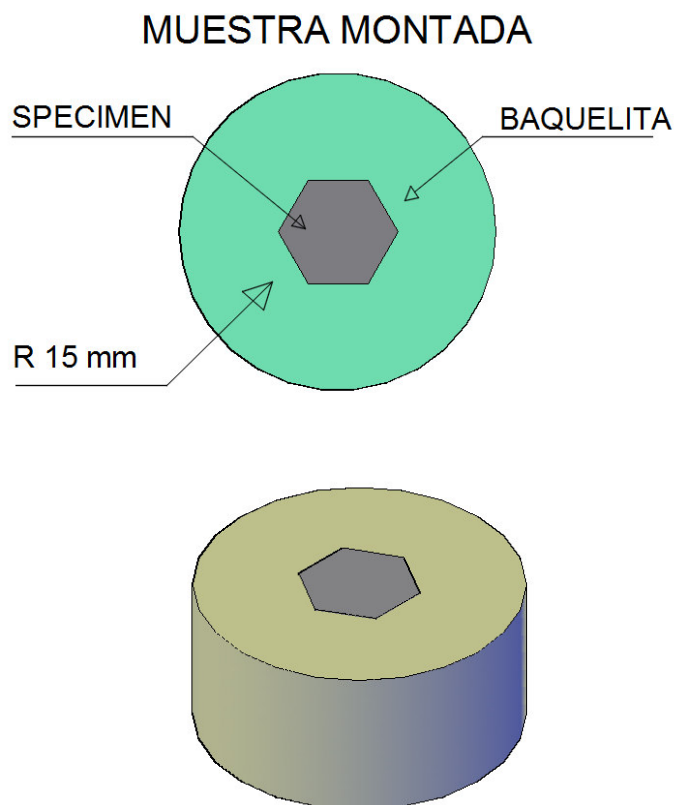
De los materiales termoestables utilizados mayormente para el montaje de probetas metalográficas por el proceso a termo-compresión es la baquelita en la que se basó para la verificación de la hipótesis, todos estos cuatro materiales se describen en el capítulo dos.

#### 4.1.3. Determinar los parámetros principales para el montaje

Debido a que el proceso a termo-compresión es más simplificado que otros procesos de manufactura de polímeros se tomaron en cuenta los parámetros de temperatura a la que el material se puede procesar sin obtener defectos, se sometió a presión de compactación para que se conforme la probeta y se elimine posibles poros que se presenten por la no eliminación del aire que lo contiene, el tiempo también fue un parámetro a considerar, los cuales difieren entre cada material.

#### 4.1.4. Obtención de probetas bajo norma ASTM E-11

Se obtuvieron probetas metalográficas como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 4-2** Probeta metalográfica en diferentes vistas su altura puede variar entre 10 y 15 mm.

**Fuente:** Autor

#### 4.1.5. Evaluación de la calidad en las probetas

##### 4.1.5.1. Ensayo de dureza

**Tabla 4-1** Valores de dureza shore D bajo la norma ASTM D 2240 según el anexo V obtenidos en los laboratorios de la EPN.

<b>DUREZA SHORE D</b>				
<b>Probeta / Material</b>	<b>Baquelita</b>	<b>Lucita</b>	<b>PS Cristal</b>	<b>PS Choque</b>
Probeta 1	82.7	84.1	86.1	65.3
Probeta 2	89.3	84.4	85.3	64.9
Probeta 3	87	83	85	67
Probeta 4	86.9	84.4	85	69.1
Probeta 5	89.8	83.6	85.1	66.5
Probeta 6	88.1	84	85.2	63

Fuente: Autor

##### 4.1.5.2. Ensayo de densidad.

**Tabla 4-2** Valores de masa, volumen y densidad de una muestra de cada material de las probetas metalográficas.

<b>Ensayo de Densidad</b>			
<b>Probeta / Material</b>	<b>Masa (gr)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
Baquelita	11,4	7,3	1,56
Lucita	5	3,9	1,28
Poliestireno Cristal	8,8	6,9	1,27
Poliestireno Choque	9,9	7,2	1,37

Fuente: Autor

### 4.1.5.3. Montaje a termo-compresión

Ficha 4.1. Estudio del comportamiento a termo-compresión de baquelita.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	1(PROBETA 1)
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240		
<b>DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS</b>			
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>		<b>DATOS DEL MATERIAL</b>	
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>BAQUELITA</b>
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoestable
<b>Presión de trabajo:</b>	1000 psi	<b>Máx temperatura:</b>	190 °C
<b>Tiempo de calentamiento</b>	5 min	<b>Mín temperatura:</b>	60 °C
<b>Tiempo de estabilización</b>	5 min	<b>Color:</b>	Negro
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	5 min	<b>Presentación:</b>	Polvo
<b>Tiempo total</b>	15 min	<b>Peso:</b>	10 gr
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina fría
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>	
		<b>Cara inferior</b>	
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>			
<b>Resistencia a compresión</b>	143.6 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>	451 MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>			
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	82.7 Shore D
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>			
<b>Poros:</b>	NO	<b>Fisuras:</b>	SI
<b>Desmoronamientos:</b>			SI



Ficha 4.2. Estudio del comportamiento a termo-compresión de baquelita.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>		
	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>		
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	2(PROBETA 2)
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240		
<b>DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRÁFICAS</b>			
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>		<b>DATOS DEL MATERIAL</b>	
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>BAQUELITA</b>
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoestable
<b>Presión de trabajo:</b>	1000 psi	<b>Máx temperatura:</b>	190 °C
<b>Tiempo de calentamiento</b>	5 min	<b>Min temperatura:</b>	60 °C
<b>Tiempo de estabilización</b>	5 min	<b>Color:</b>	Negro
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	5 min	<b>Presentación:</b>	Polvo
<b>Tiempo total</b>	15 min	<b>Peso:</b>	10 gr
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina Caliente
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Cara superior</b>	<b>Borde</b>	<b>Cara inferior</b>	
			
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>			
<b>Resistencia a compresión</b>	195.7 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>	451MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>			
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	89.3 Shore D
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>			
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	NO
<b>Desmoronamientos:</b>			NO



Ficha 4.3. Estudio del comportamiento a termo-compresión de baquelita.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS					
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	3(PROBETA 3)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALGRÁFICAS					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>BAQUELITA</b>		
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoestable		
<b>Presión de trabajo:</b>	1000 psi	<b>Máx temperatura:</b>	190 °C		
<b>Tiempo de calentamiento</b>	5 min	<b>Min temperatura:</b>	60 °C		
<b>Tiempo de estabilización</b>	5 min	<b>Color:</b>	Negro		
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	5 min	<b>Presentación:</b>	Polvo		
<b>Tiempo total</b>	15 min	<b>Peso:</b>	10 gr		
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina caliente		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
					
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a la compresión</b>		218.3 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>		451MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	87 Shore D		
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	NO	<b>Fisuras:</b>	NO	<b>Desmoronamientos:</b>	NO

Ficha 4.4. Estudio del comportamiento a termo-compresión de baquelita.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
		<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	4(PROBETA 4)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>BAQUELITA</b>		
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoestable		
<b>Presión de trabajo:</b>	1000 psi	<b>Máx temperatura:</b>	190 °C		
<b>Tiempo de calentamiento</b>	5 min	<b>Min temperatura:</b>	60 °C		
<b>Tiempo de estabilización</b>	5 min	<b>Color:</b>	Negro		
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	5 min	<b>Presentación:</b>	Polvo		
<b>Tiempo total</b>	15 min	<b>Peso:</b>	10 gr		
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina caliente		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a compresión</b>		150.4 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>		451 MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	86.9 Shore D		
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	NO	<b>Desmoronamientos:</b>	NO

Ficha 4.5. Estudio del comportamiento a termo-compresión de baquelita.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
		<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	5 (PROBETA 5)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>BAQUELITA</b>		
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoestable		
<b>Presión de trabajo:</b>	1000 psi	<b>Máx temperatura:</b>	190 °C		
<b>Tiempo de calentamiento</b>	5 min	<b>Min temperatura:</b>	60 °C		
<b>Tiempo de estabilización</b>	5 min	<b>Color:</b>	Negro		
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	5 min	<b>Presentación:</b>	Polvo		
<b>Tiempo total</b>	15 min	<b>Peso:</b>	10 gr		
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina caliente		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
					
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a compresión</b>		206.1 MPa	<b>Módulo compresión:</b>	451 MPa	
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	89.8 Shore D		
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	NO	<b>Fisuras:</b>	NO	<b>Desmoronamientos:</b>	SI

Ficha 4.6. Estudio del comportamiento a termo-compresión de baquelita.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	6(PROBETA 6)
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240		
<b>DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS</b>			
<b>DATOS DE LA PRENSA PARA EL MONTAJE</b>		<b>DATOS DEL MATERIAL POLIMÉRICO</b>	
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>BAQUELITA</b>
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoestable
<b>Presión de trabajo:</b>	1000 psi	<b>Máx temperatura:</b>	190 °C
<b>Tiempo de calentamiento</b> de	5 min	<b>Min temperatura:</b>	60 °C
<b>Tiempo de estabilización</b>	5 min	<b>Color:</b>	Negro
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	5 min	<b>Presentación:</b>	Polvo
<b>Tiempo total</b>	15 min	<b>Peso:</b>	10 gr
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina caliente
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>	<b>Cara inferior</b>
			
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>			
<b>Resistencia a compresión</b>		178.3 MPa	<b>Módulo de compresión:</b> 451MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>			
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	88.1 Shore D
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>			
<b>Poros:</b>	NO	<b>Fisuras:</b>	NO
<b>Desmoronamientos:</b>			NO

Ficha 4.7 Estudio del comportamiento a termo-compresión de lucita.






	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
	<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>		
<b>Datos Informativos:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	7(PROBETA 7)
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240		
DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS			
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>		<b>DATOS DEL MATERIAL</b>	
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	LUCITA
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoplástico
<b>Presión de trabajo:</b>	1500 psi	<b>Máx temperatura:</b>	270 °C
<b>Tiempo de calentamiento</b>	10 min	<b>Min temperatura:</b>	60 °C
<b>Tiempo de estabilización</b>	10 min	<b>Color:</b>	Transparente
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	10 min	<b>Presentación:</b>	Polvo
<b>Tiempo total</b>	30 min	<b>Peso:</b>	10 gr
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina fría
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Cara superior</b>	<b>Borde</b>	<b>Cara inferior</b>	
			
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>			
<b>Resistencia a compresión</b>		127 MPa	<b>Módulo de compresión:</b> 368 MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>			
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	84.1 Shore D
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>			
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	NO
<b>Desmoronamientos:</b>			NO



Ficha 4.8. Estudio del comportamiento a termo-compresión de lucita.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
		<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	8(PROBETA 8)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
<b>DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS</b>					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	LUCITA		
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoplástico		
<b>Presión de trabajo:</b>	1500 psi	<b>Máx temperatura:</b>	270 °C		
<b>Tiempo de calentamiento</b>	10 min	<b>Mín temperatura:</b>	60 °C		
<b>Tiempo de estabilización</b>	10 min	10 min	Transparente		
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	10 min	10 min	Polvo		
<b>Tiempo total</b>	30 min	30 min	10 gr		
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina fría		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
					
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a compresión</b>		112.8 MPa	<b>Módulo de compresión</b>		368 MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	84.4 Shore D		
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	NO	<b>Desmoronamientos:</b>	NO

Ficha 4.9. Estudio del comportamiento a termo-compresión de lucita.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
		<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	9(PROBETA 9)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
<b>DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS</b>					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	LUCITA		
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoplástico		
<b>Presión de trabajo:</b>	1500 psi	<b>Máx temperatura:</b>	270 °C		
<b>Tiempo de calentamiento</b>	10 min	<b>Mín temperatura:</b>	60 °C		
<b>Tiempo de estabilización</b>	10 min	10 min	Transparente		
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	10 min	10 min	Polvo		
<b>Tiempo total</b>	30 min	30 min	10 gr		
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina fría		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
					
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a compresión</b>		118.6 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>		368 MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	83 Shore D		
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	NO	<b>Desmoronamientos:</b>	NO



Ficha 4.10. Estudio del comportamiento a termo-compresión de lucita.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	10(PROBETA 10)
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240		
<b>DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS</b>			
<b>DATOS DE LA PRENSA PARA EL MONTAJE</b>		<b>DATOS DEL MATERIAL POLIMÉRICO</b>	
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	LUCITA
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoplástico
<b>Presión de trabajo:</b>	1500 psi	<b>Máx temperatura:</b>	270 °C
<b>Tiempo de calentamiento</b>	10 min	<b>Min temperatura:</b>	60 °C
<b>Tiempo de estabilización</b>	10 min	<b>Color:</b>	Transparente
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	10 min	<b>Presentación:</b>	Polvo
<b>Tiempo total</b>	30 min	<b>Peso:</b>	10 gr
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina fría
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Cara superior</b>	<b>Borde</b>	<b>Cara inferior</b>	
			
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>			
<b>Resistencia a compresión</b>	79.4 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>	368 MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>			
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	84.4 Shore D
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>			
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	NO
<b>Desmoronamientos:</b>			NO

Ficha 4.11. Estudio del comportamiento a termo-compresión de lucita.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
		<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	11(PROBETA 11)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico		<b>Nombre:</b>	LUCITA	
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua		<b>Tipo:</b>	Termoplástico	
<b>Presión de trabajo:</b>	1500 psi		<b>Máx temperatura:</b>	270 °C	
<b>Tiempo de calentamiento</b>	10 min		<b>Min temperatura:</b>	60 °C	
<b>Tiempo de estabilización</b>	10 min		10 min	Transparente	
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	10 min		10 min	Polvo	
<b>Tiempo total</b>	30 min		30 min	10 gr	
<b>Calentador:</b>	1200 W		<b>Observaciones</b>	Máquina fría	
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
					
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a compresión</b>		75.8 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>	368 MPa	
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>	Rígida		<b>Dureza:</b>	83.6 Shore D	
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	NO	<b>Desmoronamientos:</b>	NO

Ficha 4.12. Estudio del comportamiento a termo-compresión de lucita.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
		<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	12(PROBETA 12)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
<b>DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS</b>					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>LUCITA</b>		
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoplástico		
<b>Presión de trabajo:</b>	1500 psi	<b>Máx temperatura:</b>	270 °C		
<b>Tiempo de calentamiento</b>	10 min	<b>Min temperatura:</b>	60 °C		
<b>Tiempo de estabilización</b>	10 min	10 min	Transparente		
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	10 min	10 min	Polvo		
<b>Tiempo total</b>	30 min	30 min	10 gr		
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina fría		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
					
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a compresión</b>		102.3 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>		368 MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	84 Shore D		
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	NO	<b>Desmoronamientos:</b>	NO






Ficha 4.13. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
		<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	13(PROBETA 13)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>PS CRISTAL</b>		
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoplástico		
<b>Presión de trabajo:</b>	2000 psi	<b>Máx temperatura:</b>	300 °C		
<b>Tiempo de calentamiento</b>	10 min	<b>Min temperatura:</b>	60 °C		
<b>Tiempo de estabilización</b>	30 min	<b>Color:</b>	Transparente		
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	15 min	<b>Presentación:</b>	Polvo		
<b>Tiempo total</b>	55 min	<b>Peso:</b>	10 gr		
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina fría		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
					
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a compresión</b>		110.8 MPa	<b>Módulo compresión:</b>	384 MPa	
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	86.1 Shore D		
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	NO	<b>Desmoronamientos:</b>	NO

Ficha 4.14. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.




 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	14(PROBETA 14)
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240		
<b>DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALGRÁFICAS</b>			
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>		<b>DATOS DEL MATERIAL</b>	
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>PS CRISTAL</b>
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoplástico
<b>Presión de trabajo:</b>	2000 psi	<b>Máx temperatura:</b>	300 °C
<b>Tiempo de calentamiento</b>	10 min	5 min	60 °C
<b>Tiempo de estabilización</b>	30 min	25 min	Transparente
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	15 min	<b>Presentación:</b>	Polvo
<b>Tiempo total</b>	55 min	45 min	10 gr
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina fría
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Cara superior</b>	<b>Borde</b>	<b>Cara inferior</b>	
			
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>			
<b>Resistencia a compresión</b>	47.6 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>	384 MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>			
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	85.3 Shore D
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>			
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	NO
		<b>Desmoronamientos:</b>	NO

Ficha 4.15. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.






		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
		<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	15(PROBETA 15)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico		<b>Nombre:</b>	<b>PS CRISTAL</b>	
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua		<b>Tipo:</b>	Termoplástico	
<b>Presión de trabajo:</b>	2000 psi		<b>Máx temperatura:</b>	300 °C	
<b>Tiempo de calentamiento</b>	10 min		10 min	60 °C	
<b>Tiempo de estabilización</b>	30 min		30 min	Transparente	
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	15 min		<b>Presentación:</b>	Polvo	
<b>Tiempo total</b>	55 min		55 min	10 gr	
<b>Calentador:</b>	1200 W		<b>Observaciones</b>	Máquina fría	
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
					
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a compresión</b>		47.3 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>	384 MPa	
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>	Rígida		<b>Dureza:</b>	85 Shore D	
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	NO	<b>Desmoronamientos:</b>	NO



Ficha 4.16. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	16(PROBETA 16)
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240		
<b>DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALGRÁFICAS</b>			
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>		<b>DATOS DEL MATERIAL</b>	
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>PS CRISTAL</b>
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoplástico
<b>Presión de trabajo:</b>	2000 psi	<b>Máx temperatura:</b>	300 °C
<b>Tiempo de calentamiento</b>	10 min	10 min	60 °C
<b>Tiempo de estabilización</b>	30 min	30 min	Transparente
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	15 min	<b>Presentación:</b>	Polvo
<b>Tiempo total</b>	55 min	55 min	10 gr
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina fría
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>	
		<b>Cara inferior</b>	
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>			
<b>Resistencia a compresión</b>	115.3 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>	384 MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>			
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	85 Shore D
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>			
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	SI
<b>Desmoronamientos:</b>			SI

Ficha 4.17. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
		<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	17(PROBETA 17)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>PS CRISTAL</b>		
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoplástico		
<b>Presión de trabajo:</b>	2000 psi	<b>Máx temperatura:</b>	300 °C		
<b>Tiempo de calentamiento</b>	10 min	10 min	60 °C		
<b>Tiempo de estabilización</b>	30 min	30 min	Transparente		
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	15 min	<b>Presentación:</b>	Polvo		
<b>Tiempo total</b>	55 min	55 min	10 gr		
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina fría		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
					
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a compresión</b>		65 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>	384 MPa	
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	85.1 Shore D		
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	NO	<b>Desmoronamientos:</b>	NO



Ficha 4.18. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Cristal.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
		<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	18(PROBETA 18)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>PS CRISTAL</b>		
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoplástico		
<b>Presión de trabajo:</b>	2000 psi	<b>Máx temperatura:</b>	300 °C		
<b>Tiempo de calentamiento</b>	10 min	<b>Min temperatura:</b>	60 °C		
<b>Tiempo de estabilización</b>	30 min	<b>Color:</b>	Transparente		
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	15 min	<b>Presentación:</b>	Polvo		
<b>Tiempo total</b>	55 min	<b>Peso:</b>	10 gr		
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina fría		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
					
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a compresión</b>		116.8 MPa	<b>Módulo compresión:</b>	384 MPa	
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>	Rígida	<b>Dureza:</b>	85.2 Shore D		
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	NO	<b>Desmoronamientos:</b>	NO



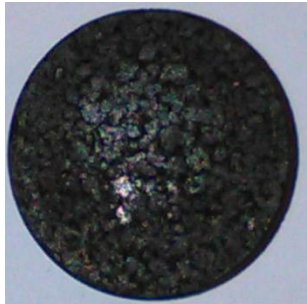
Ficha 4.19. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Choque.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>					
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	19(PROBETA 19)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
<b>DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS</b>					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico		<b>Nombre:</b>	<b>PS CHOQUE</b>	
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua		<b>Tipo:</b>	Termoplástico	
<b>Presión de trabajo:</b>	1000 psi		<b>Máx temperatura:</b>	270 °C	
<b>Tiempo de calentamiento</b>	15 min		<b>Min temperatura:</b>	60 °C	
<b>Tiempo de estabilización</b>	15 min		<b>Color:</b>	Negro	
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	15 min		<b>Presentación:</b>	Polvo	
<b>Tiempo total</b>	45 min		<b>Peso:</b>	10 gr	
<b>Calentador:</b>	1200 W		<b>Observaciones</b>	Máquina fría	
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
					
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a compresión</b>		97.8 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>		105 MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>		<b>Dureza:</b>	65.3 Shore D		
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	NO	<b>Fisuras:</b>	SI	<b>Desmoronamientos:</b>	NO

Ficha 4.20. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Choque.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>					
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	20(PROBETA 20)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
<b>DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS</b>					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico		<b>Nombre:</b>	<b>PS CHOQUE</b>	
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua		<b>Tipo:</b>	Termoplástico	
<b>Presión de trabajo:</b>	1000 psi		<b>Máx temperatura:</b>	270 °C	
<b>Tiempo de calentamiento</b>	15 min		<b>Min temperatura:</b>	60 °C	
<b>Tiempo de estabilización</b>	15 min		<b>Color:</b>	Negro	
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	15 min		<b>Presentación:</b>	Polvo	
<b>Tiempo total</b>	45 min		45 min	10 gr	
<b>Calentador:</b>	1200 W		<b>Observaciones</b>	Máquina fría	
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
					
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a la compresión</b>		99.1 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>		105 MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>			<b>Dureza:</b>	64.9 Shore D	
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	SI	<b>Desmoronamientos:</b>	NO

Ficha 4.21. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Choque.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
		<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	21(PROBETA 21)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>PS CHOQUE</b>		
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoplástico		
<b>Presión de trabajo:</b>	1000 psi	<b>Máx temperatura:</b>	270 °C		
<b>Tiempo de calentamiento</b>	15 min	<b>Min temperatura:</b>	60 °C		
<b>Tiempo de estabilización</b>	15 min	<b>Color:</b>	Negro		
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	15 min	<b>Presentación:</b>	Polvo		
<b>Tiempo total</b>	45 min	45 min	10 gr		
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina fría		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
					
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a compresión</b>		96.9 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>		105 MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>		<b>Dureza:</b>		67 Shore D	
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	SI	<b>Fisuras:</b>	SI	<b>Desmoronamientos:</b>	SI

Ficha 4.22. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Choque.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>					
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	22(PROBETA 22)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
<b>DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS</b>					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>PS CHOQUE</b>		
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoplástico		
<b>Presión de trabajo:</b>	1000 psi	<b>Máx temperatura:</b>	270 °C		
<b>Tiempo de calentamiento</b>	15 min	<b>Min temperatura:</b>	60 °C		
<b>Tiempo de estabilización</b>	15 min	<b>Color:</b>	Negro		
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	15 min	<b>Presentación:</b>	Polvo		
<b>Tiempo total</b>	45 min	45 min	10 gr		
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina fría		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
					
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a la compresión</b>		98.5 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>		105 MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>		<b>Dureza:</b>		69.1 Shore D	
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	NO	<b>Fisuras:</b>	SI	<b>Desmoronamientos:</b>	NO

Ficha 4.23. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Choque.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>			
<b>Datos Informativos:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	23(PROBETA 23)
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240		
<b>DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS</b>			
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>		<b>DATOS DEL MATERIAL</b>	
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>PS CHOQUE</b>
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoplástico
<b>Presión de trabajo:</b>	1000 psi	<b>Máx temperatura:</b>	270 °C
<b>Tiempo de calentamiento</b>	15 min	<b>Min temperatura:</b>	60 °C
<b>Tiempo de estabilización</b>	15 min	<b>Color:</b>	Negro
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	15 min	<b>Presentación:</b>	Polvo
<b>Tiempo total</b>	45 min	45 min	10 gr
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina fría
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>	
			<b>Cara inferior</b>
			
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>			
<b>Resistencia a la compresión</b>	101.3 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>	105 MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>			
<b>Apariencia:</b>		<b>Dureza:</b>	66.5 Shore D
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>			
<b>Poros:</b>	NO	<b>Fisuras:</b>	NO
		<b>Desmoronamientos:</b>	NO



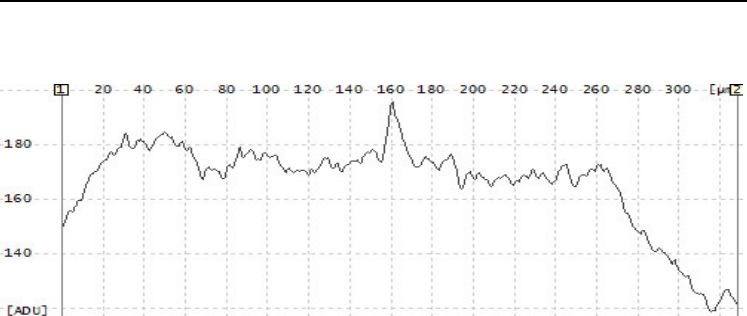
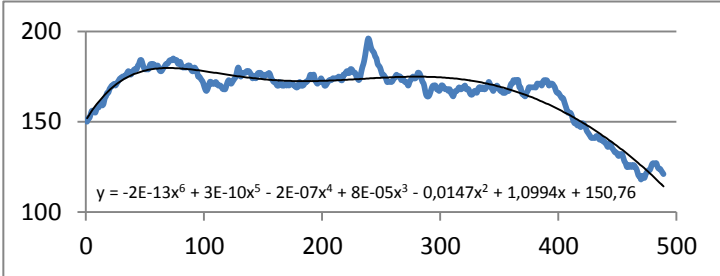
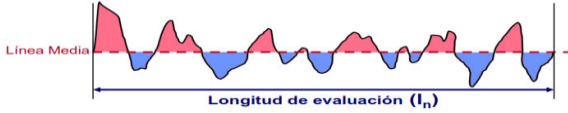


Ficha 4.24. Estudio del comportamiento a termo-compresión de PS Choque.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE POLÍMEROS</b>					
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	24(PROBETA 24)		
<b>Lugar de estudio:</b>	Lab. de Materiales FICM	<b>Fecha:</b>	21/03/2015		
<b>Realizado por:</b>	Lascano E.	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Vaca H.		
<b>Normas aplicables:</b>	ASTM: E3-11, D695, D2240				
<b>DATOS PARA EL MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS</b>					
<b>DATOS DE LA PRENSA</b>			<b>DATOS DEL MATERIAL</b>		
<b>Accionamiento</b>	Hidráulico	<b>Nombre:</b>	<b>PS CHOQUE</b>		
<b>Alimentación:</b>	110 AC / Agua	<b>Tipo:</b>	Termoplástico		
<b>Presión de trabajo:</b>	1000 psi	<b>Máx temperatura:</b>	270 °C		
<b>Tiempo de calentamiento</b>	15 min	<b>Min temperatura:</b>	60 °C		
<b>Tiempo de estabilización</b>	15 min	<b>Color:</b>	Negro		
<b>Tiempo de enfriamiento:</b>	15 min	<b>Presentación:</b>	Polvo		
<b>Tiempo total</b>	45 min	45 min	10 gr		
<b>Calentador:</b>	1200 W	<b>Observaciones</b>	Máquina fría		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Cara superior</b>		<b>Borde</b>		<b>Cara inferior</b>	
					
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
<b>Resistencia a la compresión</b>		99 MPa	<b>Módulo de compresión:</b>		105 MPa
<b>ACABADO SUPERFICIAL</b>					
<b>Apariencia:</b>		<b>Dureza:</b>		63 Shore D	
<b>DEFECTOLOGÍA:</b>					
<b>Poros:</b>	NO	<b>Fisuras:</b>	NO	<b>Desmoronamientos:</b>	NO



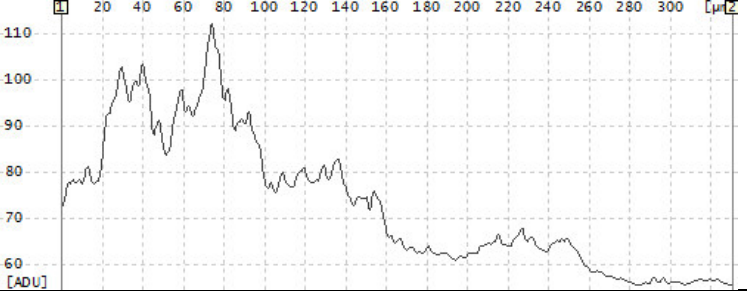
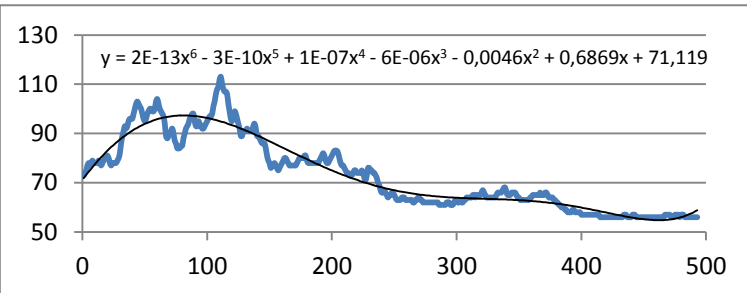
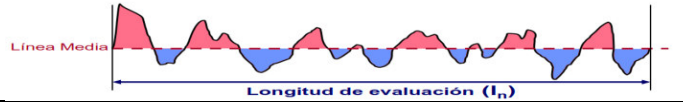
### 4.1.5.3. Acabado superficial

#### Reporte de rugosidad superficial en baquelita.



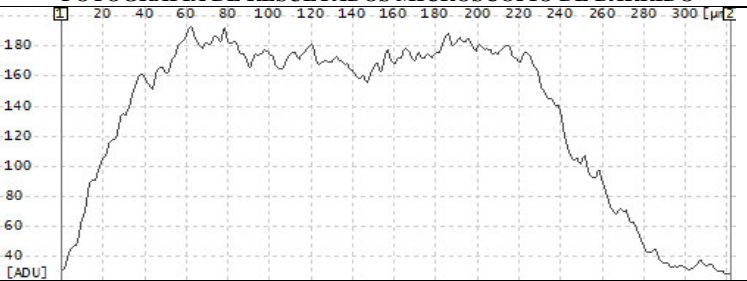
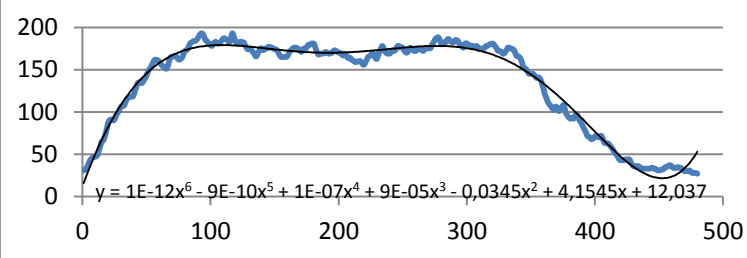
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
REPORTE DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL									
DATOS GENERALES									
Item a inspeccionar	Probetas metalográficas	Identificación:	Probeta 01						
Fecha de ejecución	18/08/2015	Material	Baquelita						
Lugar de ejecución:	UTA – FICM	Solicitado por:	Ing. Mg. Henry Vaca						
Elaborado por:	Edwin Lascano	Revisado por:	Ing. Mg. Henry Vaca						
PARÁMETROS PRINCIPALES									
Instrumento Utilizado:	SCANNING ELECTRON MICROSCOPE	Parámetro evaluado:	Rugosidad						
REGISTRO DE MEDICIONES									
PUNTOS (um)	Y (ADU)	LONGITUD TOTAL	328.55 um						
0.00	150	NÚMERO DE PUNTOS	489 pts						
0.67	152	DISTANCIA ENTRE PUNTOS	0.67 um						
1.34	152	FOTOGRAFÍA DE RESULTADOS MICROSCOPIO DE BARRIDO							
4.03	156								
6.72	158								
7.39	160								
8.06	160								
8.73	159								
9.41	160								
10.08	163								
10.75	164								
11.42	166								
12.09	166								
12.77	168								
13.44	169								
14.11	170								
14.78	170								
15.45	171					RESULTADOS			
19.48	174								
20.16	175								
20.83	175								
21.50	175								
22.17	176								
22.84	177								
23.52	178								
24.19	177								
24.86	176								
25.53	177								
26.20	178	Cálculo del valor de rugosidad Ra media aritmética del perfil							
26.88	179	$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l  y(x)  dx$							
27.55	179								
PROBETA	Long Rugosidad (l) (mm)	Rugosidad media (Ra) (um)	Clase de rugosidad	Observaciones:					
Probeta 01	0,25	0,1509	N3	Bruñido					
Elaborado por:	Edwin Lascano	Verificó:	Ing. Mg. Henry Vaca	FECHA:					
Revisó:	Edwin Lascano	Validó:	Ing. Mg. Henry Vaca	24/08/2015					





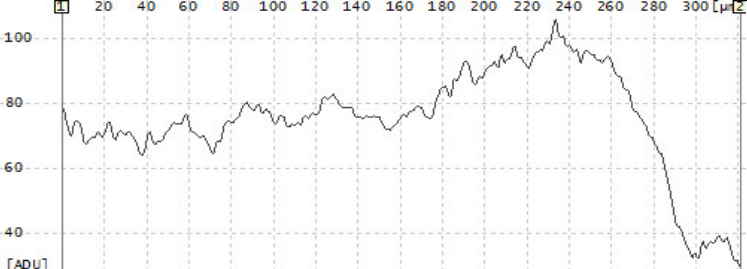
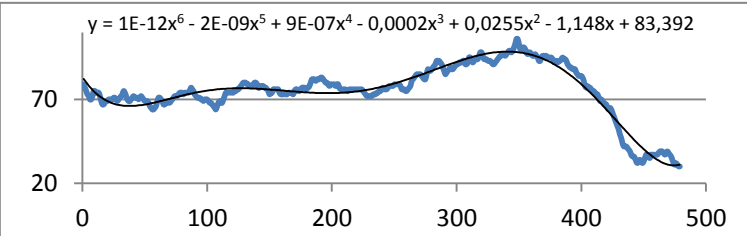
## Reporte de rugosidad superficial en lucita.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL					
DATOS GENERALES					
Item a inspeccionar	Probetas metalográficas	Identificación:	Probeta 02		
Fecha de ejecución	18/08/2015	Material	Lucita		
Lugar de ejecución:	UTA – FICM	Solicitado por:	Ing. Mg. Henry Vaca		
Elaborado por:	Edwin Lascano	Revisado por:	Ing. Mg. Henry Vaca		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	SCANNING ELECTRON MICROSCOPE	Parámetro evaluado:	Rugosidad		
REGISTRO DE MEDICIONES					
PUNTOS (um)	Y (ADU)	LONGITUD TOTAL	330.58 um		
0.00	73	NÚMERO DE PUNTOS	493 pts		
0.67	74	DISTANCIA ENTRE PUNTOS	0.67 um		
1.34	75	FOTOGRAFÍA DE RESULTADOS MICROSCOPIO DE BARRIDO			
2.01	77				
2.68	78	RESULTADOS			
3.35	77				
4.02	78	Cálculo del valor de rugosidad Ra media aritmética del perfil			
4.69	79	$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l  y(x)  dx$			
5.36	78				
6.03	78	PROBETA	Long Rugosidad (l) (mm)	Rugosidad media (Ra) (um)	Clase de rugosidad
6.71	78	Probeta 02	0,25	0.071	N2
7.38	78	Elaborado por:	Edwin Lascano	Verificó:	Ing. Mg. Henry Vaca
8.05	79	Revisó:	Edwin Lascano	Validó:	Ing. Mg. Henry Vaca
8.72	78				FECHA:
9.39	77				24/08/2015
10.06	78				
10.73	79				
11.40	80				
12.07	81				
12.74	81				
13.41	80				
14.08	78				
14.75	77				
15.42	78				
16.09	78				
16.76	78				
17.43	78				
18.10	79				
18.78	80				
19.45	82				
20.12	86				

## Reporte de rugosidad superficial en ps cristal.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
REPORTE DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL								
DATOS GENERALES								
Item a inspeccionar	Probetas metalográficas	Identificación:	Probeta 03					
Fecha de ejecución	18/08/2015	Material	PS Cristal					
Lugar de ejecución:	UTA – FICM	Solicitado por:	Ing. Mg. Henry Vaca					
Elaborado por:	Edwin Lascano	Revisado por:	Ing. Mg. Henry Vaca					
PARÁMETROS PRINCIPALES								
Instrumento Utilizado:	SCANNING ELECTRON MICROSCOPE	Parámetro evaluado:	Rugosidad					
REGISTRO DE MEDICIONES								
<b>PUNTOS (um)</b>	<b>Y (ADU)</b>	<b>LONGITUD TOTAL</b>	321.86 um					
0.00	31	<b>NÚMERO DE PUNTOS</b>	480 pts					
0.67	32	<b>DISTANCIA ENTRE PUNTOS</b>	0.67 um					
1.34	34	FOTOGRAFÍA DE RESULTADOS MICROSCOPIO DE BARRIDO						
2.01	36							
2.68	40							
3.35	43							
4.02	45							
4.69	46							
5.36	47							
6.03	47							
6.71	48							
7.38	50							
8.05	55							
8.72	60							
9.39	65							
10.06	66							
10.73	69							
11.40	74							
12.07	80							
12.74	87							
13.41	90							
14.08	91							
14.75	91							
15.42	90							
16.09	91	RESULTADOS						
16.76	95							
17.43	98							
18.10	100							
18.78	103							
19.45	106							
20.12	107							
PROBETA	Long Rugosidad (l) (mm)					Rugosidad media (Ra) (um)	Clase de rugosidad	Observaciones:
Probeta 03	0,25					0.0125	N1	Superacabado
Elaborado por:	Edwin Lascano					Verificó:	Ing. Mg. Henry Vaca	FECHA:
Revisó:	Edwin Lascano					Validó:	Ing. Mg. Henry Vaca	24/08/2015

## Reporte de rugosidad superficial en ps choque.




		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
REPORTE DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL								
DATOS GENERALES								
Item a inspeccionar	Probetas metalográficas	Identificación:	Probeta 04					
Fecha de ejecución	18/08/2015	Material	PS Choque					
Lugar de ejecución:	UTA – FICM	Solicitado por:	Ing. Mg. Henry Vaca					
Elaborado por:	Edwin Lascano	Revisado por:	Ing. Mg. Henry Vaca					
PARÁMETROS PRINCIPALES								
Instrumento Utilizado:	SCANNING ELECTRON MICROSCOPE	Parámetro evaluado:	Rugosidad					
REGISTRO DE MEDICIONES								
<b>PUNTOS (um)</b>	<b>Y (ADU)</b>	<b>LONGITUD TOTAL</b>	321.19 um					
0.00	79	<b>NÚMERO DE PUNTOS</b>	479 pts					
0.67	77	<b>DISTANCIA ENTRE PUNTOS</b>	0.67 um					
1.34	75	FOTOGRAFÍA DE RESULTADOS MICROSCOPIO DE BARRIDO						
2.01	73							
2.68	72							
3.35	70							
4.02	70							
4.69	72							
5.36	75							
6.03	75							
6.71	74							
7.38	74							
8.05	74							
8.72	72							
9.39	69							
10.06	67							
10.73	67							
11.40	68							
12.07	69							
12.74	69							
13.41	70							
14.08	70							
14.75	70							
15.42	70							
16.09	71	RESULTADOS						
16.76	71							
17.43	70							
18.10	69							
18.78	70							
19.45	71							
20.12	72							
PROBETA	Long Rugosidad (l) (mm)					Rugosidad media (Ra) (um)	Clase de rugosidad	Observaciones:
Probeta 04	0,25					0.083	N2	Lapeado
Elaborado por:	Edwin Lascano					Verificó:	Ing. Mg. Henry Vaca	FECHA:
Revisó:	Edwin Lascano					Validó:	Ing. Mg. Henry Vaca	24/08/2015

## Tipos de discontinuidades

RESINAS FENOLICAS / FTALATO DE DIALILO / EPOXY		
DEFECTO	CAUSA	REMEDIO
 Fragmentación Radial	SELECCIÓN MUY LARGA EN UN ÁREA DE MOLDEO  MUESTRA CON BORDES AFILADOS	INCREMENTE EL TAMAÑO DEL MOLDE  REDUZCA EL TAMAÑO DE LA MUESTRA
 Borde Contrario	CONTRACCIÓN EXCESIVA DEL PLÁSTICO ALEJADO DE LA MUESTRA	DISMINUYA TEMPERATURA DE MOLDEO ELIJA UNA RESINA DE BAJO ENCOGIMIENTO ENFRIE ANTES DE SU EXTRACCIÓN

**Figura 4-3** Posibles defectos de moldeo

**Autor:** <http://www.mailxmail.com/curso-montaje-metalograficas/moldeadores-posibles-defectos-modelo-presion>

DEFECTO	CAUSA	REMEDIO
 Fragmentación de circunferencia	POR ABSORCIÓN DE HUMEDAD ATRAPAMIENTO DE GASES DURANTE EL MOLDEO	CALIENTE PREVIAMENTE EL MOLDE AFLOJE MOMÉNTANEAMENTE DURANTE EL ESTADO LIQUIDO
 Estallado	PERÍODO DE CURACIÓN MUY CORTO  PRESIÓN INSUFICIENTE	AUMENTA EL PERÍODO DE CURADO APLIQUE LA PRESIÓN SUFICIENTE DURANTE EL PERÍODO DE CURADO
 No Fusionado	PRESIÓN DE MOLDEO INSUFICIENTE INSUFICIENCIA DE TIEMPO A TEMP. DE CURADO INCREMENTO DEL ÁREA DE SUPERFICIE DE LOS MATERIALES POLVOROSOS	USE LA PRESIÓN DE MOLDEO ADECUADA INCREMENTE EL TIEMPO DE CURADO CON LOS POLVOS, SELLE RAPIDAMENTE LA TAPA SUPERIOR Y APLIQUE PRESIÓN PARA ELIMINARLA

**Figura 4-4** Posibles defectos de moldeo

**Autor:** <http://www.mailxmail.com/curso-montaje-metalograficas/moldeadores-posibles-defectos-modelo-presion>

## 4.2. Interpretación de resultados

Los resultados que se presenta en la tabla 4.2 fueron obtenidos del Estudio del comportamiento a termo-compresión realizado en los polímeros: Resina fenólica (baquelita), Resina acrílica (lucita), pellets de poliestireno cristal y poliestireno choque (cajas de CD's) en la prensa para el montaje de probetas metalográficas del laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

**Tabla 4-3.** Ensayo del comportamiento a termo-compresión de diferentes polímeros

PROBE		TEMPERATURA	PRESIÓN DE	TIEMPO DE	TEMPERATURA
TA N°	MATERIAL	MÁXIMA °C	COMPACTACIÓN	ESTABILIZACIÓN	MÍNIMA °C
1	BAQUELITA	190	1000 psi	5 min	60
2	BAQUELITA	190	1000 psi	5 min	60
3	BAQUELITA	190	1000 psi	5 min	60
4	BAQUELITA	190	1000 psi	5 min	60
5	BAQUELITA	190	1000 psi	5 min	60
6	BAQUELITA	190	1000 psi	5 min	60
7	LUCITA	270	1500 psi	10 min	60
8	LUCITA	270	1500 psi	10 min	60
9	LUCITA	270	1500 psi	10 min	60
10	LUCITA	270	1500 psi	10 min	60
11	LUCITA	270	1500 psi	10 min	60
12	LUCITA	270	1500 psi	10 min	60
13	PS CRISTAL	300	2000 psi	30 min	60
14	PS CRISTAL	300	2000 psi	30 min	60
15	PS CRISTAL	300	2000 psi	30 min	60
16	PS CRISTAL	300	2000 psi	30 min	60
17	PS CRISTAL	300	2000 psi	30 min	60
18	PS CRISTAL	300	2000 psi	30 min	60
19	PS CHOQUE	270	1000 psi	15 min	60
20	PS CHOQUE	270	1000 psi	15 min	60
21	PS CHOQUE	270	1000 psi	15 min	60
22	PS CHOQUE	270	1000 psi	15 min	60
23	PS CHOQUE	270	1000 psi	15 min	60
24	PS CHOQUE	270	1000 psi	15 min	60

Fuente. Autor

Temperatura máxima.- Es la temperatura de control en la niquelina y por transferencia de calor, será a la que llegue el material al calentarse internamente dentro del cilindro y detecte la termocupla, operación que tomará un intervalo de tiempo pequeño desde la temperatura inicial a la que se encuentre la máquina.

Presión de compactación.- Es la presión a la que compacta el material polimérico dentro del cilindro por acción del pistón, accionamos el pistón por unos tres segundos a la presión en el aceite calibrada en el manómetro de glicerina.

Tiempo de estabilización.- Es un intervalo de tiempo en el que mantenemos la temperatura de control máxima del sistema para que pueda llegar a fundir todo el material y se conforme la probeta.

Temperatura mínima.- Es la temperatura a la que bajamos por circulación de agua de enfriamiento internamente por el calentador, operación que tomará un intervalo de tiempo para el desmontaje de la probeta.

**Tabla 4-4.** Equivalencia de la presión de aceite en el cilindro hidráulico y la presión en la muestra.

<b>Presión aceite (psi) manómetro</b>	<b>Presión en muestra diámetro 31 mm (psi) real</b>
500	1300
1000	2600
1500	3900
2000	5200

**Fuente.** Autor.

Los datos que se muestran en las tablas que corresponden a los numerales: 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 para valores de resistencia a la compresión y dureza Shore D fueron obtenidos en los laboratorios de análisis de esfuerzos y vibraciones y lab. de nuevos materiales de la Escuela Politécnica Nacional respectivamente. (VER ANEXO V).

### **4.3. Interpretación de resultados. Verificación de la hipótesis**

#### **4.3.1. Ho hipótesis nula:**

El montaje a termo-compresión de probetas metalográficas no mejorará la calidad en un 5% bajo la aplicación de presión y temperatura a polímeros.

#### 4.3.2. Ha hipótesis alternativa:

El montaje a termo-compresión de probetas metalográficas mejorará la calidad en un 5% bajo la aplicación de presión y temperatura a polímeros.

#### 4.3.3. Verificación

La hipótesis se verificó realizando la Prueba “t” para observaciones pareadas en los grupos de datos de: Dureza del material polimérico y Resistencia a la compresión.

Para la comprobación de la hipótesis se realizará un ensayo bilateral, hacia las dos colas, con un nivel de significación  $\alpha = 5\%$  obteniendo el siguiente “t” tabulado:

$$PROBABILIDAD (P) = \frac{\alpha}{100} = \frac{5}{100} = 0.05 \quad \text{Ec. 4.1.}$$

Como se analiza para las dos colas la probabilidad y se divide para 2 teniendo

$$P = \frac{0.05}{2} = 0.025 \quad \text{Ec. 4.2.}$$

Los grados de libertad de acuerdo a la muestra:

$$gL = n - 1 = 6 - 1 = 5 \quad \text{Ec. 4.3.}$$

Con P y gL vamos a la tabla de “t” (VER ANEXO V) y tenemos:

$$“t” \text{ tab}_{(6gL; 0.025)} = 2.57$$

Como se analiza a las dos colas

$$t_t = \pm 2.57$$

#### 4.3.4. Regla de decisión

Se acepta la hipótesis alterna Ha, es decir, el montaje a termo-compresión de probetas metalográficas mejorará la calidad en un 5% bajo la aplicación de presión y temperatura a polímeros, si el valor de t a calcularse se encuentra fuera del intervalo de  $-2.57$  a  $2.57$ , caso contrario si el valor se encuentra dentro del intervalo se acepta la hipótesis nula Ho, es decir, el montaje a termo-compresión de probetas metalográficas no mejorará la calidad en un 5% bajo la aplicación de presión y temperatura a polímeros.

#### 4.3.4.1. Cálculo estadístico.

$$P = \frac{\alpha}{100} \quad \text{Ec. 4.4.}$$

$$gL = n - 1 \quad \text{Ec. 4.5.}$$

$$D = d_{a1} - d_{a2} \quad \text{Ec. 4.6.}$$

$$S^2 d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} \quad \text{Ec. 4.7.}$$

$$Sd = \sqrt{S^2 d} \quad \text{Ec. 4.8.}$$

$$t = \frac{\bar{D}}{Sd} \quad \text{Ec. 4.9.}$$

Donde:

$P$  = probabilidad

$\alpha$  = nivel de significación

$gL$  = grados de libertad

$n$  = número de muestras

$D$  = diferencia entre el dato inicial y final

$\bar{D}$  = promedio de la diferencia

$S^2 d$  = Desviación

$t$  = Estadístico t

#### 4.3.5. Verificación de la hipótesis con respecto a la Dureza Shore D Baquelita vs. Lucita.

**Tabla 4-5** Verificación de la hipótesis respecto a la Dureza Shore D de las probetas de Baquelita vs. Lucita

N°	DUREZA SHORE D		$D = d_{a1} - d_{a2}$	$D^2$
	Baquelita	Lucita		
1	82.7	84.1	-1.4	1.96
2	89.3	84.4	4.9	24.01
3	87	83	4	14
4	86.9	84.4	2.5	6.25
5	89.8	83.6	6.2	38.44
6	88.1	84	4.1	16.81
<b>SUMA</b>	523.8	503.5	20.3	101.47
<b>PROMEDIO</b>	87.3	83.91	3.38	

Fuente: Autor



### Cálculo de las varianzas de las diferencias

$$S^2d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} = \frac{101.47 - \frac{(20.3)^2}{6}}{6(6-1)} = 1.093$$

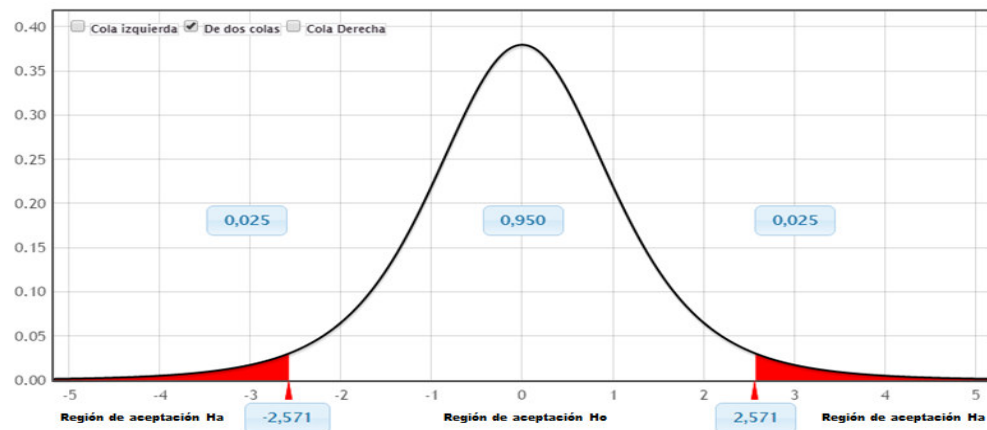
$$Sd = \sqrt{S^2d} = 1.045$$

$$t = \frac{\bar{D}}{Sd} = \frac{3.38}{1.045} = 3.23$$

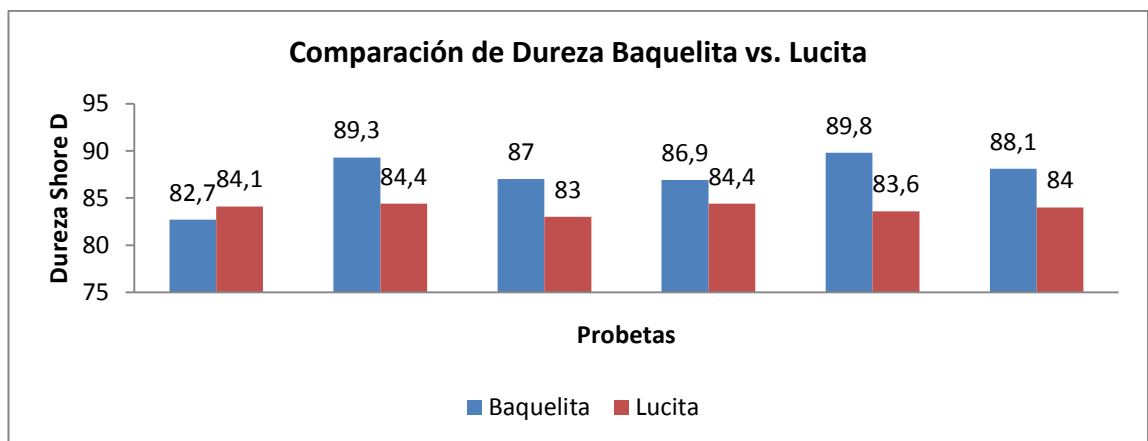
$$t = 3.23 > t_t = 2.57$$

Se encuentra fuera del intervalo  $\pm 2.57$ , por lo tanto se acepta la  $H_a$ , es decir la dureza de las probetas de Lucita ha mejorado con un adecuado proceso a termo-compresión respecto de las probetas de Baquelitas.

En la figura se presenta la relación de la dureza obtenida en las probetas obtenidas bajo el procedimiento a termo-compresión y se puede observar la diferencia.



### DUREZA



**Figura 4.1.** Hipótesis dureza Baquelita vs. Lucita.

**Fuente:** Autor

### 4.3.6. Verificación de la hipótesis con respecto a la resistencia a la compresión Baquelita vs. Lucita.

**Tabla 4-6** Verificación de la hipótesis respecto a la resistencia a la compresión de las probetas de Baquelita vs. Lucita.

N°	COMPRESIÓN		D = d <sub>a1</sub> – d <sub>a2</sub>	D <sup>2</sup>
	Baquelita	Lucita		
1	143.6	127	16.6	275.56
2	195.7	112.8	82.9	6872.41
3	218.3	118.6	99.7	9940.09
4	150.4	79.4	71	5041
5	206.1	75.8	130.3	16978.09
6	178.3	102.3	76	5776
<b>SUMA</b>	1029.8	615.9	476.5	227052.25
<b>PROMEDIO</b>	171.63	102.63	79.41	

Fuente: Autor

#### Cálculo de las varianzas de las diferencias

$$s^2d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} = \frac{227052.25 - \frac{(476.5)^2}{6}}{6(6-1)} = 6307$$

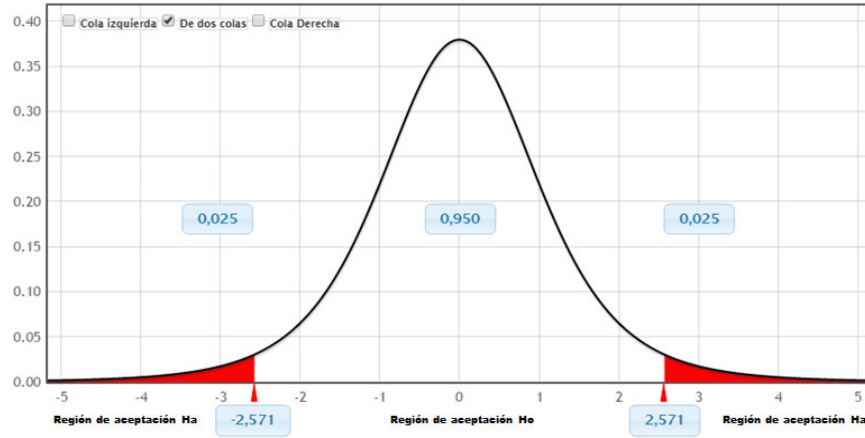
$$sd = \sqrt{s^2d} = 79.41$$

$$t = \frac{\bar{D}}{sd} = \frac{79.41}{79.41} = 1$$

$$t = 1 < t_t = 2.57$$

Se encuentra dentro del intervalo  $\pm 2.57$ , por lo tanto se acepta la  $H_0$ , es decir la resistencia a la compresión de las probetas de Lucita no ha mejorado con un adecuado proceso a termo-compresión respecto de las probetas de Baquelita.

En la figura se presenta la relación de la resistencia a la compresión obtenida en las probetas obtenidas bajo el procedimiento a termo-compresión y se puede observar la diferencia.



### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

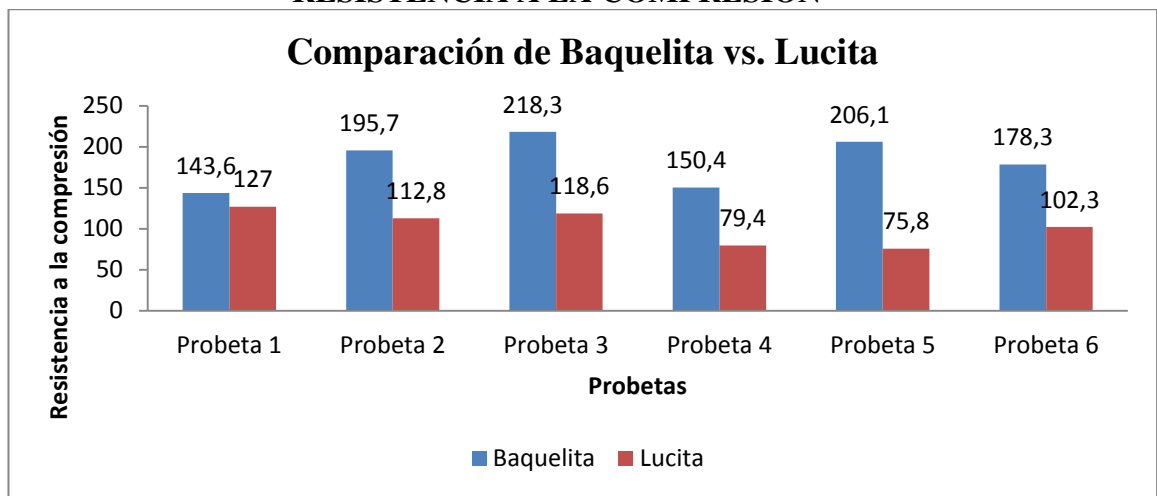


Figura 4.2. Hipótesis resistencia a la compresión

Fuente: Autor

#### 4.3.7. Verificación de la hipótesis con respecto a la Dureza Shore D Baquelita vs. PS Cristal.

Tabla 4-7 Verificación de la hipótesis respecto a la Dureza Shore D de las probetas de Baquelita vs. PS Cristal.

N°	DUREZA SHORE D		$D = d_{a1} - d_{a2}$	$D^2$
	Baquelita	PS Cristal		
1	82.7	86.1	-34	1156
2	89.3	85.3	4	16
3	87	85	2	4
4	86.9	85	1.9	3.61
5	89.8	85.1	4.7	22.09
6	88.1	85.2	2.9	8.41
<b>SUMA</b>	523.8	511.7	-18.5	1210.11
<b>PROMEDIO</b>	87.3	85.28	-3.08	

Fuente: Autor.

### Cálculo de las varianzas de las diferencias

$$S^2d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} = \frac{1210,11 - \frac{(-18,5)^2}{6}}{6(6-1)} = 38,44$$

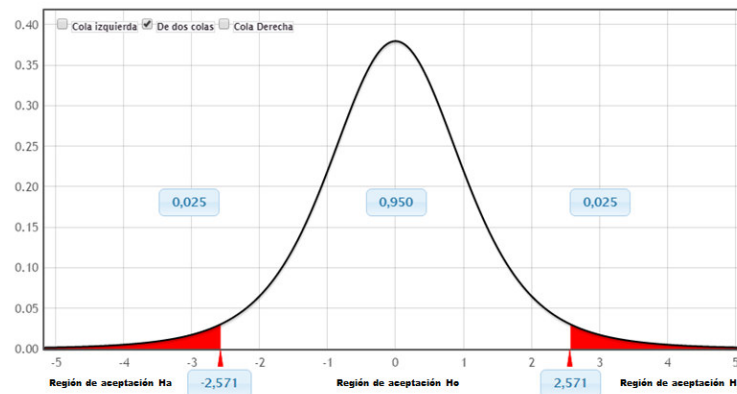
$$Sd = \sqrt{S^2d} = 6,19$$

$$t = \frac{\bar{D}}{Sd} = \frac{-3,08}{6,19} = -0,49$$

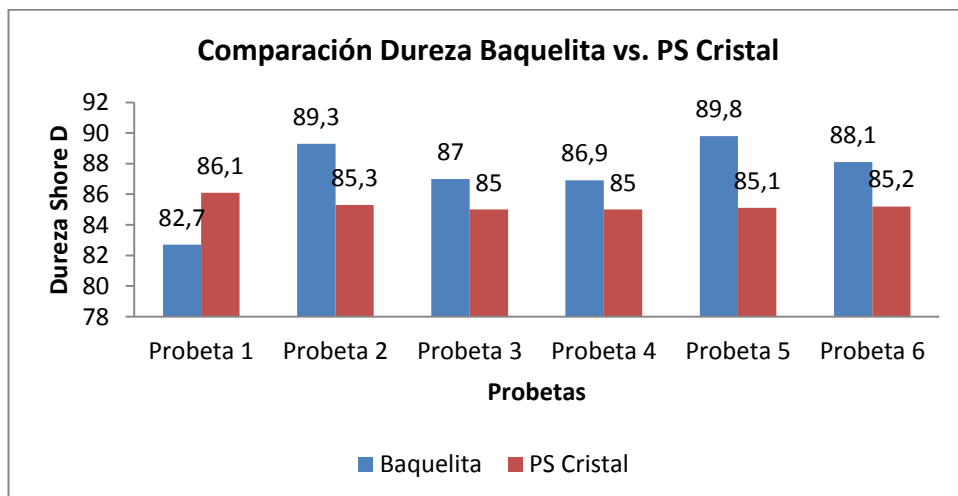
$$t = -0,49 > t_1 = -2,57$$

Se encuentra dentro del intervalo  $\pm 2,57$ , por lo tanto se acepta la  $H_0$ , es decir la dureza de las probetas de PS Cristal no ha mejorado con un adecuado proceso a termo-compresión respecto de las probetas de Baquelita.

En la figura se presenta la relación de la dureza obtenida en las probetas obtenidas bajo el procedimiento a termo-compresión y se puede observar la diferencia.



### DUREZA



**Figura 4.3.** Hipótesis dureza

**Fuente:** Autor.

### 4.3.8. Verificación de la hipótesis con respecto a la resistencia a la compresión

#### Baquelita vs. PS Cristal.

**Tabla 4-8** Verificación de la hipótesis respecto a la resistencia a la compresión de las probetas de Baquelita vs. PS Cristal.

N°	COMPRESIÓN		D = d <sub>a1</sub> - d <sub>a2</sub>	D <sup>2</sup>
	Baquelita	PS Cristal		
1	143.6	110.8	32.8	1075.84
2	195.7	47.6	148.1	21933.61
3	218.3	47.3	171	29241
4	150.4	115.3	35.1	1232.01
5	206.1	65	141.1	19909.21
6	178.3	116.8	61.5	3782.25
<b>SUMA</b>	1029.8	502.8	589.6	77173.92
<b>PROMEDIO</b>	171.63	83.8	98.26	

**Fuente:** Autor.

#### Cálculo de las varianzas de las diferencias

$$S^2d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} = \frac{77173.92 - \frac{(589.6)^2}{6}}{6(6-1)} = 641.19$$

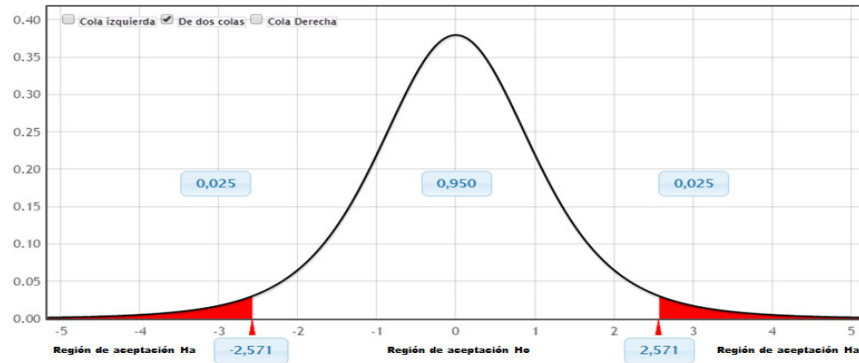
$$Sd = \sqrt{S^2d} = 25.32$$

$$t = \frac{\bar{D}}{Sd} = \frac{98.26}{25.32} = 3.88$$

$$t = 3.88 > t_t = 2.57$$

Se encuentra fuera del intervalo  $\pm 2.57$ , por lo tanto se acepta la  $H_a$ , es decir la resistencia a la compresión de las probetas ha mejorado con un adecuado proceso a termo-compresión.

En la figura se presenta la relación de la resistencia a la compresión obtenida en las probetas obtenidas bajo el procedimiento a termo-compresión y se puede observar la diferencia.



### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

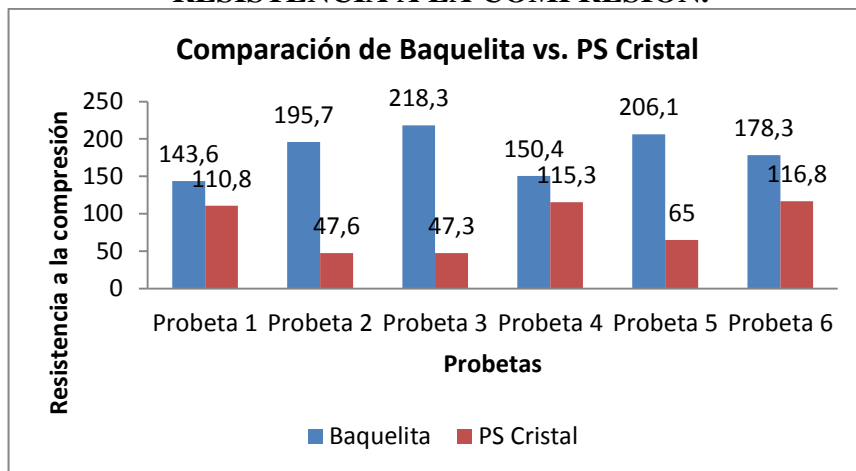


Figura 4.4. Hipótesis resistencia a la compresión

Fuente: Autor.

#### 4.3.9. Verificación de la hipótesis con respecto a la Dureza Shore D Baquelita vs. Poliestireno Choque.

Tabla 4-9 Verificación de la hipótesis respecto a la Dureza Shore D de las probetas de Baquelita vs. Poliestireno Choque.

N°	DUREZA SHORE D		$D = d_{a1} - d_{a2}$	$D^2$
	Baquelita	PS Choque		
1	82.7	65.3	17.4	302.76
2	89.3	64.9	24.4	595.36
3	87	67	20	400
4	86.9	69.1	17.8	316.84
5	89.8	66.5	23.3	542.89
6	88.1	63	25.1	630.01
<b>SUMA</b>	523.8	395.8	128	2787.86
<b>PROMEDIO</b>	87.3	65.96	21.33	

Fuente: Autor.

### Cálculo de las varianzas de las diferencias

$$S^2d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} = \frac{2787.86 - \frac{(128)^2}{6}}{6(6-1)} = 1.906$$

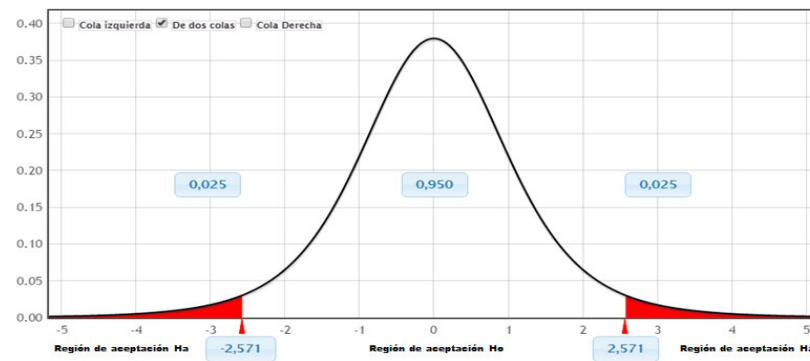
$$Sd = \sqrt{S^2d} = 1.38$$

$$t = \frac{\bar{D}}{Sd} = \frac{21.33}{1.38} = 15.44$$

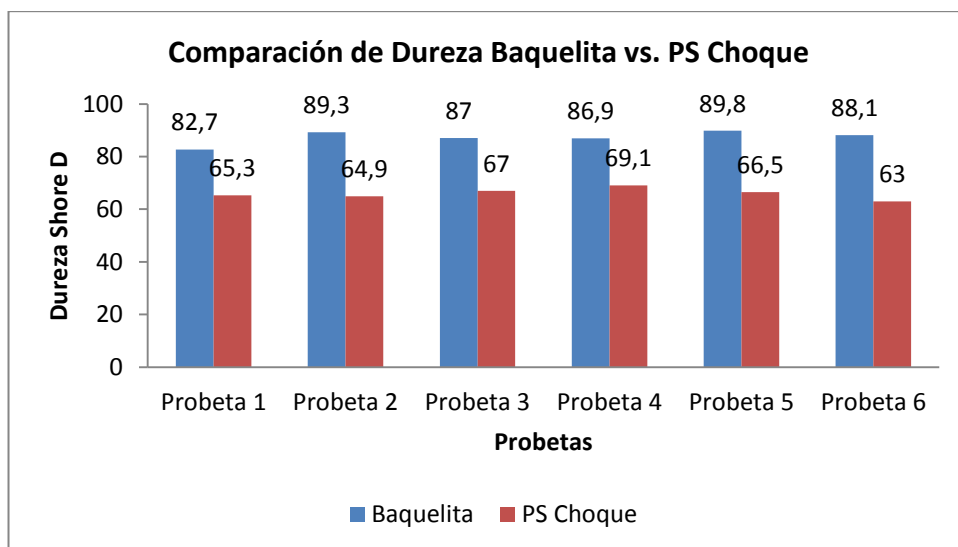
$$t = 15.44 > t_t = 2.57$$

Se encuentra fuera del intervalo  $\pm 2.57$ , por lo tanto se acepta la  $H_a$ , es decir la dureza de las probetas ha mejorado con un adecuado proceso a termo-compresión.

En la figura se presenta la relación de la dureza obtenida en las probetas obtenidas bajo el procedimiento a termo-compresión y se puede observar la diferencia.



### DUREZA SHORE D



**Figura 4.5.** Hipótesis dureza

**Fuente:** Autor.

**4.3.10. Verificación de la hipótesis con respecto a la resistencia a la compresión Baquelita vs. Poliestireno Choque.**

**Tabla 4-10** Verificación de la hipótesis respecto a la resistencia a la compresión de las probetas de Baquelita vs. Poliestireno Choque.

N°	COMPRESIÓN		D = d <sub>a1</sub> - d <sub>a2</sub>	D <sup>2</sup>
	Baquelita	PS Choque		
1	143.6	97.8	45.8	2097.64
2	195.7	99.1	96.6	9331.56
3	218.3	96.9	121.4	14737.96
4	150.4	98.5	51.9	2693.61
5	206.1	101.3	104.8	10983.04
6	178.3	99	79.3	6288.49
<b>SUMA</b>	1029.8	592.6	499.8	46132.3
<b>PROMEDIO</b>	171.63	98.76	83.3	

**Fuente:** Autor.

**Cálculo de las varianzas de las diferencias**

$$S^2d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} = \frac{46132.3 - \frac{(499.8)^2}{6}}{6(6-1)} = 149.96$$

$$Sd = \sqrt{S^2d} = 12.24$$

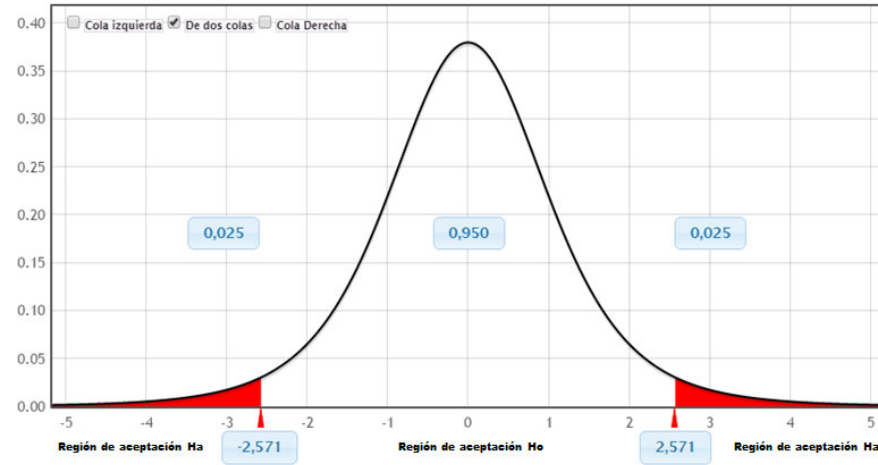
$$t = \frac{\bar{D}}{Sd} = \frac{83.3}{12.24} = 6.8$$

$$t = 6.8 > t_t = 2.57$$

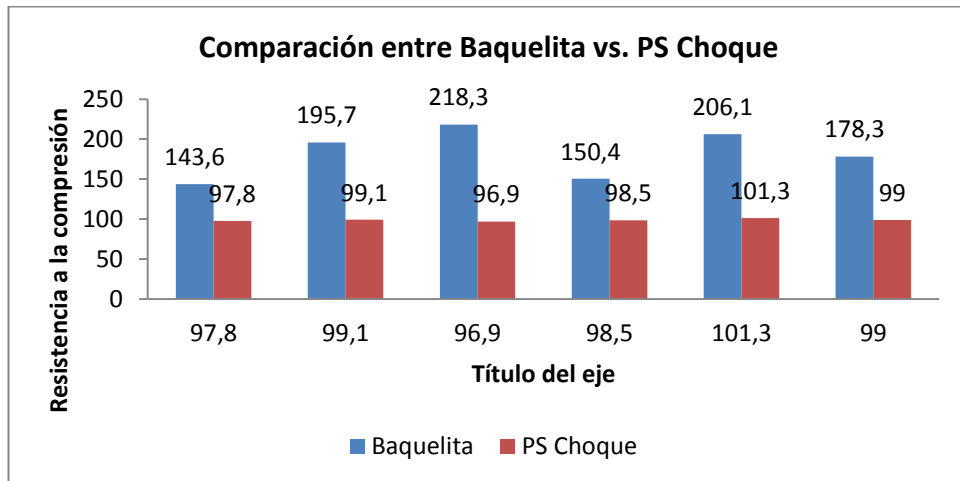
Se encuentra fuera del intervalo  $\pm 2.57$ , por lo tanto se acepta la  $H_a$ , es decir la resistencia a la compresión de las probetas ha mejorado con un adecuado proceso a termo-compresión.

En la figura se presenta la relación de la resistencia a la compresión obtenida en las probetas obtenidas bajo el procedimiento a termo-compresión y se puede observar la diferencia.





### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



**Figura 4.6.** Hipótesis resistencia a la compresión

**Fuente:** Autor.

En la siguiente tabla se describen los valores obtenidos de la verificación de hipótesis para comparar el rango de aceptación entre las propiedades analizadas.

**Tabla 4-11** Verificación de la Hipótesis respecto a las variables analizadas con la prueba T Student.

MATERIAL	Hipótesis	"T" tablas	"T" calculado	Ho	Ha
BAQUELITA VS. LUCITA	Dureza	± 2.57	3.23	-	Si
	Resistencia a la compresión	± 2.57	1	Si	-
BAQUELITA VS. PS CRISTAL	Dureza	± 2.57	-0.49	Si	-
	Resistencia a la compresión	± 2.57	3.88		Si
BAQUELITA VS. PS CHOQUE	Dureza	± 2.57	15.44		Si
	Resistencia a la compresión	± 2.57	6.8		Si

**Fuente:** Autor.

De la tabla 4.11 se evidencia una aceptación al comparar la dureza y resistencia a la compresión del poliestireno choque con la baquelita, el poliestireno choque cumple con el rango de aceptación de la hipótesis alternativa pudiendo ser un material que reemplace en la función que cumple la baquelita como material para el montaje de probetas metalográficas.

**Tabla 4-12** Cuadro comparativo de los parámetros analizados entre Baquelita y PS Choque.

Material / Propiedad	Dureza (Shore D)	Resistencia a la compresión (MPa)	Rugosidad (N <sub>i</sub> )	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Discontinuidades
Baquelita	87.3	182	N3	1.56	SI
PS Choque	65	98	N2	1.37	NO

**Fuente:** Autor.

De la tabla anterior se observa que el PS Choque posee menor dureza y resistencia a la compresión también menor pero es más liviano respecto de la baquelita, de los ensayos se observó que luego de cada montaje se obtiene un mejor acabado superficial al determinar el tipo de rugosidad y con el PS Choque ya no se presentan discontinuidades.

**Tabla 4-13.** Tabla de ponderación de acuerdo a cada material ensayado según se cumple en la tabla anterior

Material / Propiedad	Dureza	Resistencia a la compresión	Rugosidad	Densidad	Discontinuidades	Total	Eqq.
Baquelita	8	9	3	2	2	24	50=100%
PS Choque	4	3	7	9	8	31	50=100%

**Fuente:** Autor.

Calidad	Rango de aceptación
Baja	1 – 3
Media	4 – 7
Alta	8 - 10

De la tabla 4.13 el valor de comparación de los totales se obtiene:

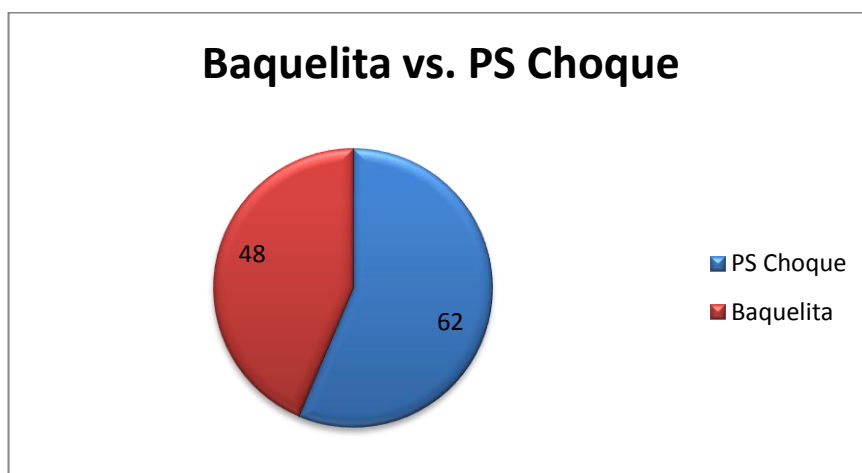
El porcentaje de aceptación de la probabilidad para la baquelita se describe:

$$\% \text{ Aceptación de la Calidad} = \frac{24}{50} = 48 \% \quad \text{Ec. 4.10}$$

Para el porcentaje que mejora en calidad el PS Choque se describe a continuación la fórmula:

$$\% \text{ Aceptación de la Calidad} = \frac{31}{50} = 62 \% \quad \text{Ec. 4.11}$$

Como se puede observar con los resultados el PS Choque puede reemplazar a la Baquelita como material polímero para el montaje de probetas metalográficas, el cual necesita el mismo tiempo para el montaje: calentamiento, compactación y enfriamiento, es más económico respecto de la baquelita, más liviano, es amigable con el ambiente, se obtiene mejor acabado superficial y se eliminan los defectos de montaje como porosidades desmoronamientos y discontinuidades.



**Ficha 4.7.** Comparación en porcentajes de la eficiencia de cada material

**Fuente** Autor.

Los resultados obtenidos en la comprobación de la hipótesis para cada variable analizada demuestran claramente que aplicando el proceso a termo-compresión a diferentes polímeros, permitieron mejorar la calidad en un 14 % por lo tanto se puede decir que la Hipótesis fue comprobada.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 5.1. Conclusiones

- Los parámetros principales que intervienen en el montaje a termo-compresión de probetas metalográficas son la temperatura de moldeo de diferentes polímeros, la presión de compactación y el tiempo de estabilización o curado del material, así como la temperatura de desmolde.
- Las temperaturas de conformación, o moldeo de cada polímero fueron: de la Baquelita es 190°C, para la Lucita fue 270°C, así como para el PS Cristal llegó a conformarse completamente en 300°C luego de un periodo largo de tiempo debido a que es un material aislante térmico lo mismo que no permitía que se funda completamente todo el material agregado, y por último el PS Choque se funde completamente a la temperatura de 270°C obteniéndose buenos resultados.
- Las presiones de compactación para cada material se llegó a determinar. Baquelita con 1000 psi, Lucita se compacta a 1500 psi, el PS Cristal se determinó una presión de 2000 psi mucho mayor para los otros materiales estudiados y por último el PS Choque con una presión de 1000 psi similar a la Baquelita.
- Al aplicar presión de compactación sin antes calentar el polímero a la temperatura de moldeo y esperando el tiempo para la estabilización, la probeta presenta porosidades internas, por cuanto se obtiene una probeta de mala calidad.
- El tiempo que se obtuvo respecto al curado o tiempo de estabilización del polímero con Baquelita fue de 5 minutos, Lucita con 10 minutos, para el PS Cristal se necesitan 30 minutos y para PS Choque un poco menos con 15 minutos, adicionalmente se suma el tiempo de calentamiento y enfriamiento para el desmontaje respectivamente.
- En el capítulo anterior se verificó los parámetros principales para medir la calidad y el porcentaje que se ha mejorado para el montaje de probetas metalográficas siendo un 29,16% el obtenido mayor al 5% esperado con lo que se deja demostrada la hipótesis.

- Al aplicar presiones bajas a las necesarias para el proceso a termo-compresión en cada uno de los polímeros se observa porosidad ya sea en el interior o exterior de la probeta y por consecuente dureza menor a la esperada.
- Reducir el tiempo necesario para el montaje de la probeta reduce la calidad de la probeta presentando falta de fusión, fisuras, grietas, concavidades y desmoronamientos.
- El desmontaje de la probeta a temperaturas altas o mayores a la recomendada puede causar quemaduras al operador y se obtienen probetas de pésima calidad por tender a deformarse.
- El material menos óptimo resulta ser el poliestireno cristal porque necesita tiempo, temperatura y presión mayores con referencia a baquelita, lucita y poliestireno choque, presentando mayores defectos y valores menores en las propiedades mecánicas en comparación con el resto de materiales.
- El PS Cristal presenta una rugosidad menor en comparación de los otros polímeros.
- El PS Choque puede reemplazar a la Baquelita únicamente se necesita mayor tiempo para el montaje de la probeta metalográfica en las mismas condiciones y mejorando la calidad respecto de la Baquelita.

## **5.2. Recomendaciones**

- Verificar la presión de trabajo a aplicar en el cilindro hidráulico con el manómetro, no exceder de 3000 psi.
- Verificar de acuerdo a la tabla 4.2 la relación de presiones de la que indica el manómetro en base al cilindro hidráulico con respecto al cilindro de compresión para cada material.
- Mantener la salida de agua a un desagüe todo el tiempo para que permita la salida de vapor a alta presión que despiden por las mangueras mientras se produce el calentamiento.
- Usar una mínima cantidad de desmoldante, el aceite de silicona trabaja bien pero colocado en exceso puede entrar en contacto con el material polimérico reduciendo la calidad del montaje.
- Se accionará el mando mecánico de la válvula hidráulica aplicando presión al cilindro hidráulico alrededor de 10 segundos en caso de repetir hacerlo luego de un corto tiempo.

- Verificar las condiciones de funcionamiento y alimentaciones de energía eléctrica y agua junto con un mantenimiento adecuado a la máquina Prensa hidráulica para el montaje de probetas metalográficas.
- Para el montaje de PS Choque se debe agregar dos medidas de 10 gr de material debido a que la estabilidad dimensional es reducida en relación con otros polímeros para obtener una probeta de iguales dimensiones de las requeridas.
- Configurar la temperatura para cada polímero en el controlador de temperatura en el instante de montar cada probeta metalográfica.
- Realizar un procedimiento para el montaje de probetas metalográficas con diferentes polímeros usando la Prensa hidráulica en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica con el fin de obtener probetas metalográficas con buena calidad.

## CAPÍTULO VI

### PROPUESTA

#### “PROCEDIMIENTO DE MONTAJE A TERMO-COMPRESIÓN DE PROBETAS METALGRÁFICAS CON DIFERENTES POLÍMEROS”

##### 6.1. Datos informativos

Luego de realizar el Estudio del comportamiento a termo-compresión de diferentes polímeros y su incidencia en la calidad del montaje de probetas metalográficas en el laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica se determinó que los materiales poliméricos: lucita, baquelita y poliestireno choque tienen similares parámetros para el montaje a termo-compresión, presentando excelente calidad.

El polímero virgen siempre va a ser de un costo relativamente alto comparado con un polímero que se puede reciclar, así que se planea usar el poliestireno choque de origen reciclado y molido para usarlo en casos que se pueda reemplazar a la baquelita o lucita debido a que trabaja sin problemas y se puede conseguir fácilmente, trabaja con los siguientes datos en la máquina con una presión 1000 psi y una temperatura de 270 °C

El estudio del proceso a termo-compresión contribuye un aporte importante en el área de metalografía y en el área de materiales, debido a que se ha investigado el comportamiento de un material polimérico frente al proceso a termo-compresión en el montaje de probetas metalográficas permitiendo trabajar de mejor manera y presentar el mejor acabado superficial. Constituyéndose además una base para realizar estudios posteriores ya sea con otros tipos de procesamiento de polímeros o en todo el proceso que constituye pulir una probeta metalográfica

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Materiales de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua; para el desarrollo del estudio se requiere de la prensa de montaje de probetas metalográficas, balanza, calibrador digital, herramientas manuales: todos estos equipos e instrumentos fueron útiles para realizar el estudio.

## **6.2. Antecedentes de la propuesta**

Actualmente existen investigaciones sobre el procesamiento de polímeros a termo-compresión pero es difícil coincidir con el estudio propuesto sobre el comportamiento a termo-compresión de los polímeros Baquelita, Lucita, poliestireno cristal y poliestireno choque, para el montaje de probetas metalográficas. En el estudio del comportamiento de los polímeros se presentan variables como la compresión del polímero, temperatura de conformación, tiempo de estabilización y tipo de polímero que han sido analizados con anterioridad.

Luego de realizar la investigación en diferentes polímeros planteados anteriormente se ha determinado que un procedimiento para el montaje a termo-compresión aplicando presiones, temperaturas y tiempos adecuados contribuye a mejorar la calidad del montaje de probetas metalográficas.

## **6.3. Justificación**

El estudio del comportamiento a termo-compresión de diferentes polímeros permitió determinar el comportamiento del polímero con los parámetros adecuados; y analizar su comportamiento en condiciones similares, evaluando de esta forma los cambios contribuyendo a generar nuevos avances tecnológicos, bases de estudio e información para estudiantes y otros investigadores.

En el laboratorio se requiere implementar nuevos sistemas que permitan realizar diferentes tipos de ensayos con procesos automatizados y más en el área de metalografía, este método de análisis contribuyó para seleccionar el material polimérico adecuado para realizar el montaje de probetas metalográficas y facilitar a profesores y estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica un correcto análisis metalográfico rápido y económico con calidad.

Para realizar el montaje de probetas metalográficas; se requiere disponer de procedimiento técnico donde indique los parámetros fundamentales de funcionamiento, los cuales ayudará a los estudiantes de Ingeniería Mecánica para posteriores estudios de diferentes materiales poliméricos.



## **6.4. Objetivos**

### **6.4.1. General**

- Elaborar un procedimiento para realizar el montaje a termo-compresión de probetas metalográficas de excelente calidad en diferentes polímeros.

### **6.4.2. Específicos**

- Describir el funcionamiento de la prensa para el montaje de probetas metalográficas.
- Establecer los parámetros que se pueden controlar durante el montaje de las probetas.
- Especificar las condiciones para el montaje de probetas metalográficas con cada polímero.

## **6.5. Análisis de factibilidad**

La presente propuesta es factible de realizar ya que se cuenta con los instrumentos, equipos y el recurso humano para el desarrollo, tomando en cuenta que los materiales poliméricos se los puede conseguir existiendo información disponible de cada uno en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, además el laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica dispone de las facilidades de instalación para poder realizar la presente propuesta.

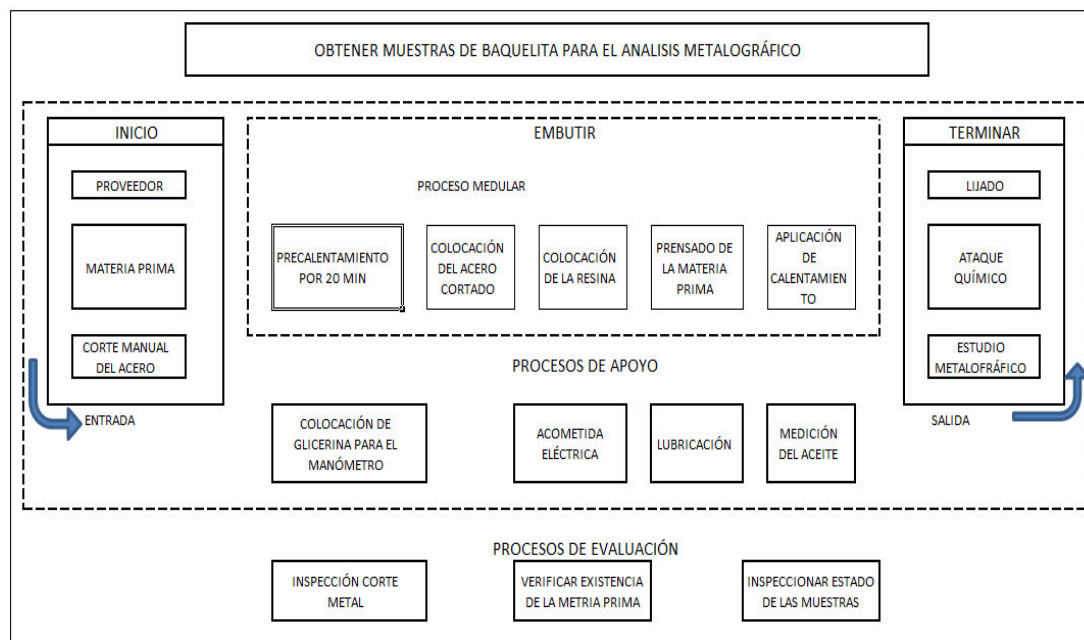
Para el desarrollo del ensayo se requiere: prensa para el montaje de probetas metalográficas, balanza analítica, calibrador digital, polímeros, termocupla, manómetro, cronómetro disponibles en el laboratorio.

## **6.6. Fundamentación**

La presente propuesta se basa en la información recolectada en el Capítulo II, IV y V los cuales están relacionados con el marco teórico, análisis e interpretación de resultados, conclusiones y recomendaciones respectivamente, estos capítulos son el respaldo del estudio en donde se presenta la fundamentación teórica necesaria, los resultados obtenidos, conclusiones y recomendaciones en los diferentes ensayos realizados en la presente investigación, hasta que se determinó el material polimérico

adecuado para realizar el montaje de probetas metalográficas el mismo o los mismos que se comportan de mejor manera frente al proceso de termo-compresión.

### Diagrama de proceso para el encapsulado metalográfico en caliente



**Figura 6-1** Diagrama de procesos para obtener muestras de baquelita para el análisis metalográfico.

**Fuente:** (Lugo & Andara, 2013)

## 6.7. Metodología

### Documentación de referencia

La información de referencia se encuentra establecida en el marco teórico investigado en el capítulo II, y en los anexos correspondientes al trabajo investigativo.

### Generalización.





El montaje de probetas metalográficas permitió determinar el comportamiento a termo-compresión del polímero al someterlo a una determinada compresión, temperatura y tiempo de trabajo, en este caso se estableció el polímero más óptimo para trabajar con la prensa hidráulica que es la baquelita y el poliestireno choque por que poseen temperaturas de curado y fuerza de compresión más bajas que la lucita y poliestireno cristal.

## **Realización**

Para la realización del montaje de probetas metalográficas con material polimérico se siguen los siguientes pasos:

- Preparación del espécimen a utilizar en el montaje.
- Verificar las entradas de alimentación de la máquina
- Calibración de la máquina.
- Realizar el montaje y el desmontaje para continuar con el análisis metalográfico, ensayo de dureza y ensayo de compresión los cuales quedan fuera de los alcances del presente estudio.

A continuación se presenta el procedimiento para la obtención de probetas metalográficas mediante el montaje a termo-compresión con la prensa hidráulica en diferentes polímeros:

	<b>PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE PROBETAS METALOGRAFICAS</b>			OPM 1	 FICM-OPM-001
<b>DATOS GENERALES</b>					
Proceso	Termo-compresión	Identificación	PTC-001		
Solicitante	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica				
Dirección	Av. Los Chasquis	Fecha	01/12/2015	Ciudad	Ambato
Realizó	Edwin Lascano	Supervisó	Ing. Henry Vaca		
<b>Objetivo:</b> Describir un procedimiento de apoyo técnico, que sirva de guía para el desarrollo en forma adecuada del, “Montaje de probetas metalográficas en caliente con la prensa hidráulica”.			<b>Alcance:</b> El procedimiento sirve para realizar el montaje de probetas metalográficas con polímeros, estableciendo parámetros de temperatura presión y tiempo en el estudio.		
I N V E S T I G A D O R	<div style="text-align: center;"> <div data-bbox="386 884 1308 990" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>PREPARAR EL ESPECÍMEN A UTILIZAR EN EL MONTAJE</b> </div> <div data-bbox="386 1052 1308 1115" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">           Obtener la muestra para el análisis metalográfico         </div> <div data-bbox="790 1176 1002 1388" style="text-align: center;">  </div> </div>				
A Y U D A N T E  D E  L A B	<div style="text-align: center;"> <div data-bbox="395 1451 1318 1556" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>VERIFICAR LAS ENTRADAS DE ALIMENTACIÓN DE LA MÁQUINA</b> </div> <div data-bbox="389 1608 1311 1671" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">           Entrada de energía eléctrica 110 V para la bomba y el calentador.         </div> <div data-bbox="782 1720 1008 1904" style="text-align: center;">  </div> <div data-bbox="405 1955 1327 2018" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;">           Entrada de agua para el enfriamiento         </div> </div>				



**CALIBRAR LA MÁQUINA**

Girar la perilla de calibración de la presión en sentido anti horario para prevenir sobrecargas, la misma que se encuentra en el costado izquierdo de la máquina.



Accionar el botón ON de encendido de la bomba que se encuentra en el costado derecho de la máquina.



De manera instantánea accionar la palanca de mando de la válvula hidráulica hacia abajo y girar la perilla para calibrar la presión en sentido horario hasta que en el manómetro indique la presión con la que se desea trabajar y volver la palanca a la posición normal.



Retirar la tapa superior roscada en sentido anti horario, levantar el pistón hasta el borde superior del cilindro de moldeo accionando hacia arriba la palanca y luego regresar la palanca a la posición normal, siempre que se encuentre encendida la bomba.



Colocar la muestra en la cara del pistón y baje el pistón accionando la palanca hacia abajo manteniendo el motor de la bomba hidráulica encendido, y regrese la palanca a la posición normal.



Accionar el botón OFF para apagar el motor de la bomba hidráulica



**REALIZAR EL MONTAJE Y EL DESMONTAJE DE LA PROBETA**

Adquisición del material polimérico (baquelita, lucita, poliestireno cristal y poliestireno choque) en pellets o en polvo.



Agregar en el cilindro de moldeo una cantidad de 10 gr de resina en la cual se agrega con un pocillo de medida.



Colocar manualmente la tapa superior del cilindro de moldeo, introduciendo el pistón superior y girando para roscar completamente.



Encender la bomba y accionar la palanca hacia arriba para subir el pistón y ejercer presión dentro del cilindro de moldeo, por el lapso de 10 segundos y dejar de accionar la palanca, apagar la bomba

A  
Y  
U  
D  
A  
N  
T  
E  
  
D  
E  
  
L  
A  
B

Encender el calentador, verificar que la luz del calentador este encendida y calibrar la temperatura en el controlador de temperatura según la tabla 4.1.



Permitir que la temperatura detectada por la termocupla se iguale con la temperatura de control y controlar el tiempo necesario según Tabla 4.1 para el curado de la resina, en este lapso de tiempo encender por tiempos cortos la bomba para poder accionar la palanca y dar presión dentro del cilindro de moldeo para que se conforme la probeta se retire el aire contenido dentro de la cámara para evitar porosidades.

Presión aceite (psi)	Presión en muestra diámetro 31 mm (psi)
500	1300
1000	2600
1500	3900
2000	5200

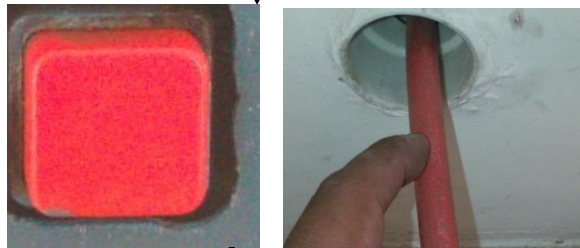
Nº	MATERIAL	TEMPERATURA MÁXIMA °C	PRESIÓN DE COMPACTACIÓN	TEMPERATURA MÍNIMA °C	TIEMPO
1	BAQUELITA	190	1000 psi	60	15 min
2	LUCITA	270	1500 psi	60	25 min
3	PS CRISTAL	300	2000 psi	60	45 min
4	PS CHOQUE	270	1000 psi	60	15 min

Aplicar 1000 psi para baquelita, poliestireno choque, 1000 psi para lucita 1500 y 2000 psi para poliestireno cristal que son las presiones calibradas para cada material y haciendo la conversión al sistema hidráulico, la misma que se aplica por lapsos cortos de tiempo en dos o tres ocasiones durante todo el tiempo de curado de la resina.





Luego de transcurrido el tiempo recomendado para el curado apagar el interruptor 0/1 rojo que desconectara al calentador para luego accionar el pulsador de paso de agua, verifique que la manguera de descarga de agua caliente se encuentre dirigida hacia un desagüe.



Terminado el tiempo de enfriamiento, desactivar el pulsador de paso de agua para cortar el flujo de agua  
Desenrosque la tapa ejerciendo fuerza desde los mangos que poseen un aislamiento de nylon y por su seguridad use guantes resistentes al calor para evitar quemaduras, no retire completamente la tapa

Encender la bomba y accionar la palanca para levantar el pistón y poder retirar la probeta, para posteriormente seguir con el siguiente paso para el ensayo metalográfico que es el desbaste.



## 6.8. Administración

**Tabla 6-1. Análisis económico donde se expone los costos necesarios para el desarrollo del presente estudio.**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO U	COSTO (USD) TOTAL
<b>MATERIALES PARA EL DESARROLLO DEL ENSAYO</b>					
1	Bakelita	400	gr	25	25
2	Lucita	400	gr	30	30
3	PS Cristal	400	gr	3	2
4	PS Choque	400	gr	2	2
5	Desmoldante	1	lt	1	1
<b>TOTAL MATERIALES</b> , para la realización del ensayo					\$ 60
<b>MATERIALES PARA LA REPOTENCIACIÓN DE LA MÁQUINA</b>					
1	Aceite hidráulico	1/4	l	6,50	6,50
2	Waipe	1	lb	2	2
3	Taipe	1		1	1
4	Interruptor on-off	1		1,50	1,50
5	Interruptor 1-0	1		6,80	6,80
6	Acero	120x120x50	mm	8	8
7	Manguera hidráulica	600	mm	14	14
8	Manómetro de glicerina	1		32	32
9	Aceite de transmisión	1/4	l	6,80	6,80
10	Controlador de temperatura	1		98	98
11	Termocupla 600 w	3		7,85	23,55
12	Cable de asbesto	1	m	2,45	2,35
13	Molino manual	1		35	35
14	Lingote de aluminio	1		25	25
15	Lana de vidrio	1		10	10
16	Fabricación del calentador	1		110	110

17	abrazaderas	2		0,50	1
18	Bornera	1		1	1
19	Cable # 12	5	m	2	2
20	Enchufe	1		1	1
21	Terminales	5	par	0,20	1
22	Cable	4	m	2,50	2,50
23	Rectificación del cilindro	1		400	400
24	Fabricación de accesorios	1		100	100
24	Pintura	1	L	20	20
<b>TOTAL MATERIALES PARA LA MÁQUINA</b>					<b>\$ 911</b>
<b>RECURSOS HUMANOS</b>					
25	Investigador	1	N/A	500.00	500
<b>TOTAL RECURSOS HUMANOS</b>					<b>500</b>
<b>VARIOS</b>					
26	Materiales de oficina	1	N/A	100.00	100.00
27	Transporte	1	N/A	30.00	30.00
28	Internet	1	N/A	25.00	25.00
29	Impresión y empastado	1	N/A	200.00	200.00
<b>TOTAL VARIOS</b>					<b>355</b>
<b>TOTAL</b>					<b>1826</b>

El costo de material virgen por cada polímero se describe a continuación:

1 Kg de Baquelita 37.5 USD, 1 Kg de Lucita 25 USD, 1 Kg de PS Cristal 1,70 USD, 1 Kg de PS Choque 1,95 USD (Disan 2015).

## 6.9. Previsión de la evaluación

Una vez concluido el presente trabajo de investigación, el mismo que fue realizado en el laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. En donde se ha determinado el proceso para el montaje de probetas metalográficas de excelente calidad en diferentes polímeros.

La investigación constituye un aporte importante en la metalografía estableciendo un proceso de montaje de probetas metalográficas que puede ser aplicado en

metalografía y que además puede servir como referencia para iniciar nuevos estudios con materiales poliméricos rígidos diferentes, determinando parámetros importantes que se destaquen durante el ensayo y aplicarlos en los laboratorios y consecuentemente en la industria.

## 6.10. Bibliografía

Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. (2013). *Ciencia e ingeniería de materiales*. México D.F.: Impresos Vacha S.A.

Balart Gimeno, R., López Martínez, J., & García Sanoguera, D. (2004). *Técnicas experimentales de análisis térmico de polímeros*. (E. d. Valencia, Ed.) ebrary collections. Recuperado el 15 de May de 2014, de <http://site.ebrary.com/lib/utasp/docPrint.action?encrypted=610e76b24d1...>

Beltrán Rico, M., & Marcilla Gomis, A. (2012). *Tecnología de polímeros*. San Vicente: Universidad de Alicante.

Cornish Álvarez, M. L. (1997). *EL ABC DE LOS PLÁSTICOS*. Universidad Iberoamericana.

Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson Educación de México S.A.

Seymour, R. B., & Carraher, C. E. (2002). *Introducción a la química de los polímeros*. España: Reverte, s.a.

Lugo, P., & Andara, A. (2013). *Automatización de la prensa embutidora para montaje múltiple de probetas metalográficas en baquelita, del laboratorio de ciencia de materiales del instituto universitario de tecnología "Alonso Gamero"*. Santa Ana de Coro.

ORTEGA, P. B. (NOVIEMBRE de 2007). UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO. *Aplicación del SMED para la solución de*

*problemas en el proceso de fabricación por termocompresión.* PACHUCA, HGO.

Paredes Proaño, M. S., & Vivanco Salazar, D. W. (2006). Diseño y construcción de un sistema de pulido de probetas metálicas (capacidad de 4 probetas por hora) para el laboratorio de Metalurgia de la FIM-E. *Tesis*. Escuela Politécnica del Ejercito.

Escobar Freire, R. M. (2008). Diseño y construcción de una prensa hidráulica automática para el montaje de probetas metalográficas en caliente para el laboratorio de materiales de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. *Tesis*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

López, M., & Arroyo, M. A. (2005). *ebrary collections*. (U. C. Madrid, Ed.) Recuperado el 30 de May de 2014, de [site.ebrary.com/lib/utasp/docDetail.action?docID=10090894&p00=polímeros](http://site.ebrary.com/lib/utasp/docDetail.action?docID=10090894&p00=polímeros)

*Propiedades del poliestireno cristal y choque.* (s.f.). Obtenido de <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso13-14/poliestireno/estructura.html>

Soberón, L. A. (15 de 05 de 2014). *Plásticos industriales y su procesamiento*. Obtenido de [ebrary collections: http://site.ebrary.com/lib/utasp/docPrint.action?encrypted=b1c8f816a51](http://site.ebrary.com/lib/utasp/docPrint.action?encrypted=b1c8f816a51)

Universitaria., E. (Ed.). (s.f.). *ebrary collections*. Recuperado el 30 de May de 2014, de <http://site.ebrary.com/lib/utasp/docPrint.action?encrypted=9104805aa71...>

Vigilante, A. (2009). *Trabajo de campo: Polímeros*. Recuperado el 28 de 05 de 2014, de [ebrary: http://site.ebrary.com/lib/utasp/docDetail.action?docID=10311806&p00=pl%C3%A1sticos](http://site.ebrary.com/lib/utasp/docDetail.action?docID=10311806&p00=pl%C3%A1sticos)

Vincent Vela, M. C., Álvarez Blanco, S., & Zaragoza Carbonell, J. L. (2005 -2006). *CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE POLÍMEROS*. Valencia, ESPAÑA: EDITORIAL DE LA UPV.

*Norma ISO 7619-1.* (15 de May de 2004). Obtenido de International standar.

Durometer method:

[https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiV5rGp45HKAhUHKx4KHbaKBO4QFg hKMAY&url=http%3A%2F%2Fhsevi.ir%2FRI\\_Standard%2Ffile%2F6687&usg=AFQjCNESZG82Vwc1-AqKo7A2VTww1OxGyA&sig2=xanlj2ckkKObnydspc3ESw](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiV5rGp45HKAhUHKx4KHbaKBO4QFg hKMAY&url=http%3A%2F%2Fhsevi.ir%2FRI_Standard%2Ffile%2F6687&usg=AFQjCNESZG82Vwc1-AqKo7A2VTww1OxGyA&sig2=xanlj2ckkKObnydspc3ESw)

*Academia.* (s.f.). Obtenido de

[https://www.academia.edu/attachments/32562914/download\\_file?s=regpath](https://www.academia.edu/attachments/32562914/download_file?s=regpath)

Internet

<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso13-14/poliestireno/principal.html>

# **ANEXO I**



Designation: E3 – 11

## Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E3; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

### 1. Scope

1.1 The primary objective of metallographic examinations is to reveal the constituents and structure of metals and their alloys by means of a light optical or scanning electron microscope. In special cases, the objective of the examination may require the development of less detail than in other cases but, under nearly all conditions, the proper selection and preparation of the specimen is of major importance. Because of the diversity in available equipment and the wide variety of problems encountered, the following text presents for the guidance of the metallographer only those practices which experience has shown are generally satisfactory; it cannot and does not describe the variations in technique required to solve individual specimen preparation problems.

NOTE 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching*, ASM, 1978; and VanderVoort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 2nd Ed., 1999.

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

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

- A90/A90M Test Method for Weight [Mass] of Coating on Iron and Steel Articles with Zinc or Zinc-Alloy Coatings<sup>2</sup>
- E7 Terminology Relating to Metallography
- E45 Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel

<sup>1</sup> This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee E04 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Specimen Preparation. Current edition approved May 1, 2011. Published June 2011. Originally approved in 1921. Last previous edition approved in 2007 as E3–01(2007) <sup>$\epsilon$ 1</sup>. DOI: 10.1520/E0003-11.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

- E768 Guide for Preparing and Evaluating Specimens for Automatic Inclusion Assessment of Steel
- E1077 Test Methods for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens
- E1122 Practice for Obtaining JK Inclusion Ratings Using Automatic Image Analysis (Withdrawn 2006)<sup>3</sup>
- E1245 Practice for Determining the Inclusion or Second-Phase Constituent Content of Metals by Automatic Image Analysis
- E1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures
- E1558 Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens
- E1920 Guide for Metallographic Preparation of Thermal Sprayed Coatings

### 3. Terminology

#### 3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions used in this practice, refer to Terminology E7.

#### 3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *castable mount*—a metallographic mount generally made from a two component castable plastic. One component is the resin and the other hardener. Both components can be liquid or one liquid and a powder. Castable mounts generally do not require heat and pressure to cure.

3.2.2 *compression mount*—a metallographic mount made using plastic that requires both heat and pressure for curing.

3.2.3 *planar grinding*—is the first grinding step in a preparation procedure used to bring all specimens into the same plane of polish. It is unique to semi or fully automatic preparation equipment that utilize specimen holders.

3.2.4 *rigid grinding disc*—a non-fabric support surface, such as a composite of metal/ceramic or metal/polymer charged with an abrasive (usually 6 to 15 $\mu$ m diamond particles), and used as the fine grinding operation in a metallographic preparation procedure.

<sup>3</sup> The last approved version of this historical standard is referenced on [www.astm.org](http://www.astm.org).



4. Significance and Use

4.1 Microstructures have a strong influence on the properties and successful application of metals and alloys. Determination and control of microstructure requires the use of metallographic examination.

4.2 Many specifications contain a requirement regarding microstructure; hence, a major use for metallographic examination is inspection to ensure that the requirement is met. Other major uses for metallographic examination are in failure analysis, and in research and development.

4.3 Proper choice of specimen location and orientation will minimize the number of specimens required and simplify their interpretation. It is easy to take too few specimens for study, but it is seldom that too many are studied.

5. Selection of Metallographic Specimens

5.1 The selection of test specimens for metallographic examination is extremely important because, if their interpretation is to be of value, the specimens must be representative of the material that is being studied. The intent or purpose of the metallographic examination will usually dictate the location of the specimens to be studied. With respect to purpose of study, metallographic examination may be divided into three classifications:

5.1.1 *General Studies or Routine Work*—Specimens should be chosen from locations most likely to reveal the maximum variations within the material under study. For example, specimens could be taken from a casting in the zones wherein maximum segregation might be expected to occur as well as specimens from sections where segregation could be at a minimum. In the examination of strip or wire, test specimens could be taken from each end of the coils.

5.1.2 *Study of Failures*—Test specimens should be taken as closely as possible to the fracture or to the initiation of the failure. Before taking the metallographic specimens, study of the fracture surface should be complete, or, at the very least, the fracture surface should be documented. In many cases, specimens should be taken from a sound area for a comparison of structures and properties.

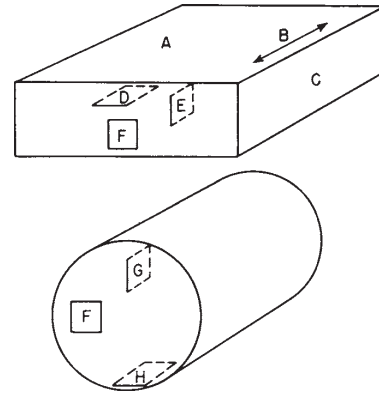
5.1.3 *Research Studies*—The nature of the study will dictate specimen location, orientation, etc. Sampling will usually be more extensive than in routine examinations.

5.2 Having established the location of the metallographic samples to be studied, the type of section to be examined must be decided.

5.2.1 For a casting, a section cut perpendicular to the surface will show the variations in structure from the outside to the interior of the casting.

5.2.2 In hot-worked or cold-worked metals, both transverse and longitudinal sections should be studied. Special investigations may require specimens with surfaces prepared parallel to the original surface of the product.

5.2.3 In the case of wire and small rounds, a longitudinal section through the center of the specimen proves advantageous when studied in conjunction with the transverse section.



Symbol in Diagram	Suggested Designation
A	Rolled surface
B	Direction of rolling
C	Rolled edge
D	Planar section
E	Longitudinal section perpendicular to rolled surface
F	Transverse section
G	Radial longitudinal section
H	Tangential longitudinal section

FIG. 1 Method of Designating Location of Area Shown in Photomicrograph.

5.3 Transverse sections or cross sections taken perpendicular to the main axis of the material are often used for revealing the following information:

- 5.3.1 Variations in structure from center to surface,
- 5.3.2 Distribution of nonmetallic impurities across the section,
- 5.3.3 Decarburization at the surface of a ferrous material (see Test Method E1077),
- 5.3.4 Depth of surface imperfections,
- 5.3.5 Depth of corrosion,
- 5.3.6 Thickness of protective coatings, and
- 5.3.7 Structure of protective coating. See Guide E1920.

5.4 Longitudinal sections taken parallel to the main axis of the material are often used for revealing the following information:

- 5.4.1 Inclusion content of steel (see Practices E45, E768, E1122, and E1245),
- 5.4.2 Degree of plastic deformation, as shown by grain distortion,
- 5.4.3 Presence or absence of banding in the structure (see Practice E1268), and
- 5.4.4 The microstructure attained with any heat treatment.

5.5 The locations of surfaces examined should always be given in reporting results and in any illustrative micrographs. A suitable method of indicating surface locations is shown in Fig. 1.

6. Size of Metallographic Specimens

6.1 For convenience, specimens to be polished for metallographic examination are generally not more than about 12 to 25

**TABLE 1 Cutoff Blade Selection**

Hardness HV	Materials	Abrasive	Bond	Bond Hardness
up to 300	non-ferrous (Al, Cu)	SiC	P or R	hard
up to 400	non-ferrous (Ti)	SiC	P or R	med. hard
up to 400	soft ferrous	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P or R	hard
up to 500	medium soft ferrous	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P or R	med. hard
up to 600	medium hard ferrous	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P or R	medium
up to 700	hard ferrous	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P or R&R	med. soft
up to 800	very hard ferrous	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P or R&R	soft
> 800	extremely hard ferrous	CBN	P or M	hard
	more brittle ceramics	diamond	P or M	very hard
	tougher ceramics	diamond	M	ext. hard

P—phenolic  
R—rubber  
R&R—resin and rubber  
M—metal

mm (0.5 to 1.0 in.) square, or approximately 12 to 25 mm in diameter if the material is cylindrical. The height of the specimen should be no greater than necessary for convenient handling during polishing.

6.1.1 Larger specimens are generally more difficult to prepare.

6.1.2 Specimens that are, fragile, oddly shaped or too small to be handled readily during polishing should be mounted to ensure a surface satisfactory for microscopical study. There are, based on technique used, three fundamental methods of mounting specimens (see Section 9).

## 7. Cutting of Metallographic Specimens

7.1 In cutting the metallographic specimen from the main body of the material, care must be exercised to minimize altering the structure of the metal. Three common types of sectioning are as follows:

7.1.1 Sawing, whether by hand or machine with lubrication, is easy, fast, and relatively cool. It can be used on all materials with hardnesses below approximately 350 HV. It does produce a rough surface containing extensive plastic flow that must be removed in subsequent preparation.

7.1.2 An abrasive cut-off blade will produce a smooth surface often ready for fine grinding. This method of sectioning is normally faster than sawing. The choice of cut-off blade, lubricant, cooling conditions, and the grade and hardness of metal being cut will influence the quality of the cut. A poor choice of cutting conditions can easily damage the specimen, producing an alteration of the microstructure. Generally, soft materials are cut with a hard bond blade and hard materials with a soft bond blade. Aluminum oxide abrasive blades are preferred for ferrous metals and silicon carbide blades are preferred for nonferrous alloys. Abrasive cut-off blades are essential for sectioning metals with hardness above about 350 HV. Extremely hard metallic materials and ceramics may be more effectively cut using diamond-impregnated cutting blades. Manufacturer's instructions should be followed as to the choice of blade. Table 1 lists the suggested cutoff blades for materials with various Vickers (HV) hardness values.

7.1.3 A shear is a type of cutting tool with which a material in the form of wire, sheet, plate or rod is cut between two opposing blades.

7.2 Other methods of sectioning are permitted provided they do not alter the microstructure at the plane of polishing. All cutting operations produce some depth of damage, which will have to be removed in subsequent preparation steps.

## 8. Cleanliness

8.1 Cleanliness (see Appendix X1) during specimen preparation is essential. All greases, oils, coolants and residue from cutoff blades on the specimen should be removed by some suitable organic solvent. Failure to clean thoroughly can prevent cold mounting resins from adhering to the specimen surface. Ultrasonic cleaning may be effective in removing the last traces of residues on a specimen surface.

8.2 Any coating metal that will interfere with the subsequent etching of the base metal should be removed before polishing, if possible. If etching is required, when studying the underlying steel in a galvanized specimen, the zinc coating should be removed before mounting to prevent galvanic effects during etching. The coating can be removed by dissolving in cold nitric acid (HNO<sub>3</sub>, sp gr 1.42), in dilute sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) or in dilute hydrochloric acid (HCl). The HNO<sub>3</sub> method requires care to prevent overheating, since large samples will generate considerable heat. By placing the cleaning container in cold water during the stripping of the zinc, attack on the underlying steel will be minimized. More information may be found in Test Method A90/A90M.

NOTE 2—Picral etchant produces little or no galvanic etching effects when used on galvanized steel.

NOTE 3—The addition of an inhibitor during the stripping of Zn from galvanized coatings will minimize the attack of the steel substrate. NEP (polyethylenepolyamine) or SbCl<sub>3</sub> are two useful inhibitors.

8.3 Oxidized or corroded surfaces may be cleaned as described in Appendix X1.

## 9. Mounting of Specimens

9.1 There are many instances where it will be advantageous to mount the specimen prior to grinding and polishing. Mounting of the specimen is usually performed on small, fragile, or oddly shaped specimens, fractures, or in instances where the specimen edges are to be examined.

9.2 Specimens may be either mechanically mounted, mounted in plastic, or a combination of the two.

### 9.3 Mechanical Mounting:

9.3.1 Strip and sheet specimens may be mounted by binding or clamping several specimens into a pack held together by two end pieces and two bolts.

9.3.2 The specimens should be tightly bound together to prevent absorption and subsequent exudation of polishing materials or etchants.

9.3.3 The use of filler sheets of a softer material alternated with the specimen may be used in order to minimize the seepage of polishing materials and etchants. Use of filler material is especially advantageous if the specimens have a high degree of surface irregularities.

9.3.4 Filler material *must* be chosen so as not to react electrolytically with the specimen during etching. Thin pieces of plastic, lead, or copper are typical materials that are used.

**TABLE 2 Characteristics of Hot-Compression Mounting Compounds**

Type of Compound	Characteristics
Acrylic	thermoplastic, cure time 10-15 min, optically clear, moderate shrinkage, low abrasion resistance, degraded by hot etchants
Diallyl phthalate <sup>A</sup>	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, minimal shrinkage, good resistance to etchants, moderate abrasion resistance
Epoxy <sup>A</sup>	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, very low shrinkage, good resistance to etchants, high abrasion resistance
Phenolic <sup>A</sup> (Bakelite)	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, moderate shrinkage, degraded by hot etchants, moderate abrasion resistance

<sup>A</sup> These compounds may be filled with wood flour, glass fiber or mineral particulate.

Copper is especially good for steel specimens since the usual etchants for steels will not attack the copper.

9.3.5 Alternatively, the specimens may be coated with a layer of epoxy resin before being placed in the clamp in order to minimize the absorption of polishing materials or etchants.

9.3.6 The clamp material should be similar in composition to the specimen to avoid galvanic effects that would inhibit etching. The specimen will not etch if the clamp material is more readily attacked by the etchant.

9.3.7 The clamp should preferably be of similar hardness as the specimens to minimize the rounding of the edges of the specimens during grinding and polishing.

9.3.8 Exercise care in clamping the specimen. Excessive clamping pressure may damage soft specimen.

#### 9.4 Plastic Mounting:

9.4.1 Specimens may be embedded in plastic to protect them from damage and to provide a uniform format for both manual and automatic preparation. This is the most common method for mounting metallographic specimens. Mounting plastics may be divided into two classes—compression and castable.

9.4.2 The choice of a mounting compound will influence the extent of edge rounding observed during the grinding and polishing operations. There are several methods available that minimize rounding. The specimen may be surrounded by hard shot, small rivets, rings, etc., of approximately the same hardness or, when using a castable resin, a slurry of resin and alumina may be poured around the specimen. The specimen may also be plated before mounting (see Section 10). Many mounting procedures result in sharp edges on the mount corners. The corners should be beveled to remove any plastic mounting flash.

9.4.3 *Compression Mounting*—There are four types of compression mounting plastics used predominantly in the metallographic laboratory (see Table 2). These plastics require the use of a mounting press providing heat (140-180°C) and force (27-30 MPa). Thermosetting plastics can be ejected hot but the best results are obtained when the cured mount is cooled under pressure. Thermoplastic compounds do not harden until cooled and therefore should not be ejected while hot. Regardless of the resin used, the best results are obtained when (1) the specimen is clean and dry, and (2) the cured mount is cooled under full pressure to below 40°C before ejection from the press. This will ensure minimal shrinkage gap formation.

9.4.4 *Castable Plastics*—Castable mounts are usually prepared at room temperature. Some may require an external heat source or applied pressure in order to cure. These resins consist

of two or more components which must be mixed just prior to use. There are four kinds of castable plastics in common use (see Table 3).

9.4.5 The molds for castable plastics are often simple cups that hold the resin until it cures. They may be reusable or not; the choice is a matter of convenience and cost. Handling castable resins requires care. They all can cause dermatitis. Manufacturers' recommendations for mixing and curing must be followed to obtain best results.

#### 9.5 Mounting Porous Specimen:

9.5.1 Porous or intricate specimens may be vacuum impregnated in order to fill voids, prevent contamination and seepage, and prevent loss of friable or loose components. Impregnation is accomplished by placing the specimen in a mold in a vacuum chamber and then introducing the resin into the mold after the chamber has been evacuated. The introduction of the resin into the mold can be accomplished either by having a funnel or stopcock fitted to the vacuum chamber or by having a basin of the resin present inside the chamber. A low-viscosity resin will produce the best results. The pressure in the chamber must remain above the critical vapor pressure of the hardener to avoid boiling away the hardener. After the pressure has equilibrated, the resin is introduced into the mold and the vacuum is released and air admitted to the chamber. Atmospheric pressure will force the resin into fine pores, cracks, and holes.

9.5.2 If a low-viscosity resin is used, the funnel and stopcock may be eliminated. The specimen and resin are placed in the mold prior to evacuation. The air in the specimen will bubble out through the resin. Exercise care to ensure the hardening agent is not evaporated during evacuation. Dipping the specimen in the resin prior to placing it in the mold may help in filling voids.

9.5.3 Vacuum impregnation is an effective method for ensuring optimal results for porous metallographic mounts. It is imperative that the specimens be completely dry prior to impregnation.

9.5.4 A more rapid technique but less effective method is to lacquer the specimens with one of the formulations used by the canning industry to line food containers. The formulations are highly penetrating and the cure is a short time at low temperatures. After lacquering, the specimens are mounted in the usual fashion.

## 10. Plating of Specimens

10.1 Specimens such as fractures or those where it is necessary to examine the edges, are often plated to obtain good

**TABLE 3 Characteristics of Castable Mounting Compounds**

Type of Compound	Characteristics
Acrylic	Cure time 8-15 min, moderate shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, low abrasion resistance, opaque to transparent
Polyester-acrylic (quartz-filled)	Cure time 8-15 min, very low shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, high abrasion resistance, opaque
Polyester	Cure time 30-60 min, high shrinkage, peak curing temperature can reach 90- 120 C during polymerization, moderate abrasion resistance, transparent
Epoxy	Cure time ½-20 h, very low shrinkage, good adhesion, low heat generation during polymerization, moderate abrasion resistance, low viscosity (good for vacuum impregnation), transparent

edge retention. Plating can be done electrolytically or with electroless solutions. These specimens are invariably mounted prior to the grinding and polishing procedures. Electroless plating solutions can be purchased commercially.

10.2 Thoroughly clean the specimen surface prior to plating to ensure good adhesion of the plating. Avoid industrial cleaning treatments that are too harsh and may cause damage to the specimen surface. Milder cleaning treatments that involve detergents, solvents, mild alkaline, or acidic solutions are recommended.

10.3 Chromium, copper, iron, nickel, gold, silver, and zinc may be electrolytically deposited although copper and nickel are predominantly used in metallographic laboratories.

10.3.1 Ferrous metals are commonly plated electrolytically with nickel or copper. A flash coat in a copper or electroless nickel bath can be first applied for specimens that are difficult to electroplate.

10.3.2 Nonferrous metals may be plated with silver and the precious metals may be plated with nickel, gold, or silver.

10.4 The plating material should not react galvanically with the base metal of the specimen during plating, polishing, or etching.

10.5 Electroless plating is preferred to electrolytic plating for specimens with rough, porous, or irregular surfaces, because the electroless solution provides better surface coverage and penetration.

10.6 Active metals such as zinc and aluminum are difficult to plate. Sometimes a flash cyanide copper plate can be deposited, which then can be followed by normal plating from a sulfate bath. Evaporated coatings of copper, gold, or chromium may also be used as starter coatings.

10.7 It is recommended that the plating thickness be at least 5µm.

## 11. Grinding and Polishing

### General Information

11.1 Many metals and alloys can be prepared using a similar sequence of grinding and polishing. Hard alloys may require greater pressure than soft alloys. The major differences will be in the final polishing. Some metals and alloys will require specific combinations of abrasive and support material, but a surprising number can be handled by the same procedure. Supplies and instructions for grinding, lapping, and polishing are readily obtainable from laboratory supply houses.

11.2 *Grinding*—Grinding can be done in a number of ways, ranging from rubbing the specimen on a stationary piece of abrasive paper to the use of automatic devices. The choice of method depends on the number and type of specimens to be done, financial considerations and requirements such as flatness and uniformity.

11.2.1 Abrasive grit size designations in this practice are expressed in the ANSI (American National Standards Institute) or CAMI (Coated Abrasives Manufacturers Institute) system units with the corresponding FEPA (European Federation of Abrasive Producers) numbers in parentheses. Table 4 provides a correlation between these two systems and the approximate median particle diameter for a given size in micrometres.

11.2.2 Grinding should start with the finest paper, platen or stone capable of flattening the specimen and removing the effects of prior operations, such as sectioning. The subsequent steps should remove the effects of previous ones in a short time. Grinding consists of two stages- planar (rough) and fine.

11.2.3 Planar or rough grinding [240 grit (P220) and coarser] may be performed on belts, rotating wheels or stones. In some methods, diamond abrasives are used on rigid platens. Planar grinding may be used to accomplish the following:

11.2.3.1 Flatten an irregular or damaged cut surface,

11.2.3.2 Remove sectioning damage, scale and other surface conditions prior to mounting,

11.2.3.3 Remove substantial amounts of specimen material to reach a desired plane for polishing,

11.2.3.4 Level the mount surface.

11.2.4 In fine grinding, damage to the specimen incurred from the planar or rough grinding step must be removed. The specimen is either ground on successively finer abrasive papers (using water to wash away grinding debris and to act as a coolant) or on a rigid disc or cloth charged with a suitable abrasive.

11.2.5 After all grinding is done, the specimen must be cleaned thoroughly. Ultrasonic cleaning in a water/soap solution containing a corrosion inhibitor may prove beneficial.

11.3 *Polishing*—Polishing is usually distinguished from grinding by the use of loose abrasive ( $\leq 6\mu\text{m}$ ) embedded in an appropriately lubricated supporting surface. The choice of abrasive, lubricant, and polishing surface support is often specific to the metal and the object of the investigation. Polishing can be divided into rough and fine (final) stages.

11.3.1 Rough polishing is often sufficient for routine evaluations like microindentation hardness and grain size.



**TABLE 4 European/USA Grit Grade Comparison Guide**

Grit Number	FEPA		ANSI/CAMI	
	Size (µm)		Grit Number	Size (µm)
P120	125.0		120	116.0
P150	100.0		180	78.0
P220	68.0		220	66.0
P240	58.5		...	...
P280	52.2		240	51.8
P320	46.2		...	...
P360	40.5		280	42.3
P400	35.0		320	34.3
P500	30.2		...	...
P600	25.8		360	27.3
P800	21.8		400	22.1
P1000	18.3		500	18.2
P1200	15.3		600	14.5
P1500	12.6		800	11.5
P2000	10.3		1000	9.5
P2500	8.4		1500	8.0
P4000 <sup>A</sup>	5.0		...	...

<sup>A</sup> Not found in the FEPA grading system.

ANSI—American National Standards Institute  
 CAMI—Coated Abrasives Manufacturers Institute  
 FEPA—European Federation of Abrasive Producers

11.3.2 When fine polishing is required, it may be performed with diamond or an oxide slurry step or both. The choice of final polishing abrasive type and size is dictated by the hardness of the specimen. For instance, a 1µm diamond final polish is often sufficient for many grades of steel, however, softer steels and non-ferrous materials often require an additional polishing step with an oxide slurry or suspension of SiO<sub>2</sub> or Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Final polishing cloths are generally softer and higher in nap than rough polishing cloths. Therefore, polishing time and force must be kept to a minimum to avoid artifacts such as edge rounding and relief.

11.3.3 Careful cleaning of the specimen between stages is mandatory to prevent contamination by coarser abrasive. Ultrasonic cleaning may be effective.

11.3.4 The polishing operations may be conducted by manual or by automated methods (preferred).

#### Manual (Hand-held) Methods

11.4 When grinding manually, the specimen should be moved back and forth across the paper to allow for even wear. Between grinding steps, the specimen should be rotated 45-90°. At the end of grinding on each paper, the surface of the specimen and its mount, if any, should be flat with one set of unidirectional grinding scratches.

11.5 Manual polishing methods consist of holding the specimen by hand against an abrasive-charged rotating wheel and moving the specimen in a circular path around the wheel against the direction of rotation of the wheel. The specimen should be held firmly in contact with the wheel.

11.6 The amount of force applied along with the rate of movement of the specimen during grinding and polishing is a matter of personal preference and experience. In the preparation of difficult materials such as thermally sprayed coatings or composites, the operating parameters must be strictly controlled.

11.7 A traditional manual preparation sequence consists of a series of grinding and polishing steps and may be similar to those listed in Table 5.

#### Automated Methods

11.8 Many styles of automated specimen preparation machinery are available. Most units can perform grinding and polishing steps. Many use holders capable of accommodating multiple specimens. Major advantages of automated grinding and polishing procedures are the consistent quality of specimen preparation and the substantial decrease in time. Therefore, automated techniques are recommended over manual techniques.

11.9 Most of the devices for automated grinding and polishing move the specimen around a rotating wheel covered with abrasive so that the specimen follows an epicycloid path. In some devices, the specimen rotates on its own axis as well. The resulting scratch pattern now consists of randomly oriented arcs. Deciding when the previous scratches have been removed is more difficult than with directional (manual) grinding. The specimen surface should show uniform scratches before proceeding to the next step. Cleaning between stages is required to prevent carryover of abrasives and contamination of subsequent preparation surfaces.

11.10 Table 5 illustrates a traditional automated preparation method. This method uses conventional SiC papers for grinding and is suitable for all but the hardest of materials. Tables 6 and 7 are preparation methods that utilize rigid grinding discs or cloths for fine grinding. The method in Table 6 has been shown to be effective for the preparation of materials harder than HRC45. The method in Table 7 may be used for the preparation of materials softer than HRC45. These procedures may produce excellent results outside of the recommended hardness ranges.

## 12. Special Procedures

12.1 Occasionally, the metallographer is faced with the preparation of unfamiliar specimens or with special situations. Anticipation of every possible situation is, of course, impossible but some guidance can be offered.

12.1.1 When used properly, electrolytic polishing can produce near deformation-free surfaces but works best on solid solution alloys. Once the operating parameters are set, specimens can be prepared quickly. See Guide E1558.

12.1.2 Vibratory polishing produces excellent results on many materials. Although slow, a number of specimens can be prepared simultaneously. It is especially advantageous for soft materials.

12.2 *Porous Specimens*—Specimens with continuous or open pores can be vacuum-impregnated (see 9.5) with epoxy. Specimens with closed pores are mounted by a suitable method, ground through the fine grinding stage, cleaned, and dried thoroughly. The surface is then wiped with epoxy mounting compound, usually the same material used to mount the specimen, to seal the pores. After hardening, the last fine-grinding stage is repeated to remove the excess material, and specimen preparation is continued as usual. The choice of

**TABLE 5 Preparation Method 1 (General Use)**

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force <sup>A</sup> N(lbf)	Platen RPM <sup>B</sup>	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15–45	20–30 (5–8)	200–300 <sup>C</sup>	CO <sup>D</sup>
Fine Grinding paper	water	240 (P220) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
paper	water	320 (P500) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
paper	water	600 (P1200) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	6µm diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede <sup>E</sup>	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA <sup>F</sup>

<sup>A</sup> Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.

<sup>B</sup> Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

<sup>C</sup> High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

<sup>D</sup> Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

<sup>E</sup> Optional step.

<sup>F</sup> Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

**TABLE 6 Preparation Method 2 for Harder Materials ≥ HRC 45 (450 HV)**

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force <sup>A</sup> N(lbf)	Platen RPM <sup>B</sup>	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15–45	20–30 (5–8)	200–300 <sup>C</sup>	CO <sup>D</sup>
Fine Grinding rigid disc	compatible lubricant	6–15µm diamond	180–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	3–6µm diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede <sup>E</sup>	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA <sup>F</sup>

<sup>A</sup> Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.

<sup>B</sup> Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

<sup>C</sup> High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

<sup>D</sup> Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

<sup>E</sup> Optional step.

<sup>F</sup> Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

**TABLE 7 Preparation Method 3 for Softer Materials ≤ HRC 45 (450 HV)**

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force <sup>A</sup> N(lbf)	Platen RPM <sup>B</sup>	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15–45	20–30 (5–8)	200–300 <sup>C</sup>	CO <sup>D</sup>
Fine Grinding heavy nylon cloth	compatible lubricant	6–15µm diamond	180–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	3–6µm diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede <sup>E</sup>	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA <sup>F</sup>

<sup>A</sup> Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.

<sup>B</sup> Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

<sup>C</sup> High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

<sup>D</sup> Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

<sup>E</sup> Optional step.

<sup>F</sup> Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

epoxy for impregnation depends on the nature of the specimen. It should be inert toward the specimen.

12.3 *Composite Materials*—Composite materials, particularly hard fibers in a soft matrix or wires in a soft insulation,

can be particularly difficult to prepare. The best approach is to first seal or impregnate pores or holes. Then grind carefully, using copious lubrication. The grinding surface must be kept flat and firm. In the polishing stages, the substrate should have no nap and should be fairly hard. Diamond abrasive is recommended. Both will minimize rounding of the hard components. Sometimes, a compromise will have to be made between accepting a few artifacts such as scratches or rounded edges.

#### 12.4 Coated Materials:

12.4.1 Coated metals, such as galvanized steel, electroplated metal, enamel ware, and so forth, can be considered a variety of composite materials. They present problems of their own, such as flaking, chipping, and rounding. For example, some coatings are so thin as to be unresolvable on simple cross sections (tinplate). Other problems are the presence of a soft coating on a harder substrate (galvanized steel) or a hard brittle coating on a soft substrate (porcelain enamel on aluminum).

12.4.1.1 The problem of thin coatings can be handled by using a taper mount. In this method, the specimen is mounted so that the plane of polish is at a small angle to the plane of the surface. For example, a tapered plug is inserted in the mounting press with the taper up. A blank tapered mount is prepared. Masking tape is wrapped around the circumference of the mount to make a well on the tapered end. A small amount of epoxy mounting compound is mixed. The specimen, cut to fit inside the well, is wetted with the epoxy and laid on the face of the tapered mount, coated side up. Using a probe, the specimen is pressed down firmly onto the tapered face. The balance of the epoxy compound is added and allowed to harden. The mounted specimen is ground and polished on the epoxy face in the conventional manner exercising care that the plane of

polish is perpendicular to the cylindrical axis of the mount. This is easily done with most automatic grinding machines.

12.4.1.2 The problem of soft coatings can be solved by the use of a suitable backup. A piece of spring steel is useful to hold the backup in place, or the backup may be cemented to the specimen. The cement can act as an insulation to minimize galvanic effects. Caution: some cements will dissolve in epoxy mounting compounds. A particularly suitable backup is another piece of the same material, with the coating sandwiched in. Another solution is to add another coating, for example, electroplate. However, this may introduce undesirable galvanic effects during etching. Galvanic problems may arise also from the interaction of the coating and its substrate. The mounting procedure used must result in excellent adhesion to the coated surface to minimize edge rounding. If edge rounding persists, the polishing time and applied force may have to be decreased.

12.4.1.3 Hard coatings on softer substrates can be mounted with a backup piece or a hard-filled mounting compound. Diamond abrasives on a napless cloth will minimize surface relief during polishing.

12.5 Fragile specimens should be mounted in one of the castable mounting formulations. Vacuum impregnation will ensure filling of holes and cavities (see 9.5). Thin walls can be reinforced by electroless nickel plating, which will alleviate the rounding problem.

12.6 Likewise, friable specimens can be bound together by impregnation with plastic or by electroless nickel plating, or both. Further guidance can be found in texts on preparation of mineralogical specimens.

### 13. Keywords

13.1 alloys; grinding; metallography; metals; mounting; polishing; sectioning; specimen preparation (metallographic)

## APPENDICES

### (Nonmandatory Information)

#### X1. CLEANING SPECIMENS

X1.1 Metallographers frequently need to clean specimens. In some instances, the adherent debris, oxidation, or corrosion product must be collected for analysis, for example, by X-ray diffraction. In other cases, the adherent matter is of no interest, it merely needs to be removed. If the underlying surface is of no interest, the surface can be shot blasted, wire brushed, or ground. However, if the underlying surface is important, for example, a fracture surface, then the cleaning operation must do as little damage as possible. These different aims of the cleaning operation must be kept in mind before formulating the cleaning program.

X1.2 When the adherent material is to be analyzed, a variety of procedures may be applied depending upon whether or not the underlying surface can or cannot be damaged.

X1.2.1 In the case of debris or corrosion product on the surface of a part, a stylus, scalpel, or other sharp object can be

used to scrape off or pry off enough material for analysis. This will do some damage to the surface, but it will be localized.

X1.2.2 As an alternative, use cellulose acetate replicating tape to remove surface debris by the extraction replica approach. A number of approaches have been developed and are described in STP 547<sup>4</sup> as well as in many textbooks on electron microscopy. Generally, thick (0.127 mm or 0.005 in.) tape is employed. One surface is moistened with acetone and then pressed against the debris-coated surface. After it dries, strip off the tape in the same way as you would remove adhesive tape. The debris will adhere to the tape.

X1.3 When the surface is to be examined, but the adherent debris will not be analyzed, several approaches can be used.

<sup>4</sup> "Manual Electron Metallography Techniques," 1973. Available from ASTM Headquarters. Request STP 547.

**TABLE X1.1 Cleaning Solutions for Use When Standard Methods Are Inadequate**

6N HCl plus 2 g/L Hexamethylene tetramine <sup>A</sup>	Immerse specimen in solution for 1 to 15 min. Good for steels. Cleaning action can be enhanced by light brushing or by brief (5 s) periods in an ultrasonic cleaner.
3 mL HCl 4 mL 2-Butyne-1, 4 diol inhibitor 50 mL water <sup>B</sup>	Use a fresh solution at room temperature. Use in an ultrasonic cleaner for about 30 s.
49 mL water 49 mL HCl 2 mL Rodine-50 inhibitor <sup>C</sup>	Wash specimen in alcohol for 2 min in an ultrasonic cleaner before and after a 2-min ultrasonic cleaning period with the inhibited acid bath.
6 g sodium cyanide 6 g sodium sulphite 100 mL distilled water <sup>DEF</sup>	Electrolytic rust removal solution. Use under a hood with care. Use 100-mA/cm <sup>2</sup> current density for up to 15 min.
10 g ammonium citrate 100 mL distilled water <sup>G</sup>	Use solution heated to 30°C (86°F).
70 mL orthophosphoric acid 32 g chromic acid 130 mL water <sup>H</sup>	Recommended for removing oxides from aluminum alloy fractures (some sources claim that only organic solvents should be used).
8 oz endox 214 powder 1000 mL cold water (add small amount of Photo-Flo) <sup>I,J</sup>	Use electrolytically at 250-mA/cm <sup>2</sup> current density for 1 min with a Pt cathode to remove oxidation products. Wash in an ultrasonic cleaner with the solution for 1 min. Repeat this cycle several times if necessary. Use under a hood.

<sup>A</sup> deLeiris, H., et al, "Techniques for Removing Rust from Fractures of Steel Parts that are to be Examined by Electron Microfractography," *Mem. Sci. Rev. Met.*, Vol 63, No. 5, May 1966, pp. 463–472.

<sup>B</sup> Dahlberg, E. P., "Techniques for Cleaning Service Failures in Preparation for Scanning Electron Microscope and Microprobe Analysis," *Scanning Electron Microscopy*, 1974, Part IV, pp. 911–918.

<sup>C</sup> Brooks, C. E., and Lundin, C. D., "Rust Removal from Steel Fractures—Effect on Fractographic Evaluation," *Microstructural Science*, Vol 3A, Elsevier, NY, 1975, pp. 21–33.

<sup>D</sup> deLeiris, H., et al, "Techniques for Removing Rust from Fractures of Steel Parts That Are to be Estimated by Electron Microfractography," *Mem. Sci. Rev. Met.*, Vol 63, No. 5, May 1966, pp. 463–472.

<sup>E</sup> Russ, J. C., and Miller, G. A., "Effect of Oxidization on the Electron Fractographic Interpretation of Fractures in Steel," *JISI*, December 1969, pp. 1635–1638.

<sup>F</sup> Pickwick, K. M., and Smith, E., "The Effect of Surface Contamination in SEM Fractographic Investigations," *Micron*, Vol 3, No. 2, 1972, pp. 224–237.

<sup>G</sup> Interrante, C. G., and Hicho, G. E., "Removal of Iron-Sulfide Deposits from Fracture Surfaces," *ASTM STP 610*, 1976, pp. 349–365.

<sup>H</sup> Beachem, C. D., *The Interpretation of Electron Microscope Fractographs*, NRL Report 6360, U.S. Government Printing Office, Jan. 21, 1966.

<sup>I</sup> Yuzawich, P. M., and Hughes, C. W., "An Improved Technique for Removal of Oxide Scale from Fractured Surfaces of Ferrous Materials," *Prakt. Met.*, Vol 15, April 1978, pp. 184–195.

<sup>J</sup> Goubau, B., and Werner, H., "Microfractographic Investigation of Fracture Surfaces Coated With Magnetite," *Prakt. Met.*, Vol 17, No. 5, May 1980, pp. 209–219.

Always try the simplest, safest methods first. For example, use a blast of compressed air to remove any loosely adherent material. A soft camel-hair brush or a soft toothbrush may also be useful for removing loosely adherent matter.

X1.3.1 If the techniques in X1.3 do not suffice, try aqueous solutions, organic solvents, or alcohol with an ultrasonic cleaner. Aqueous solutions (8 g of Alconox per litre of warm water) containing Alconox<sup>5</sup>, a detergent, have been found (1, 2) to be effective. Follow the Alconox bath with rinsing under running water, then dry. Organic solvents, such as acetone, ethyl methyl ketone, toluene, xylene, or alcohol (ethanol is preferable to methanol because of potential health problems with the latter) are also very effective. Before choosing one of these solutions, be sure that it will not adversely affect the material being cleaned. Avoid use of chlorinated organic solvents (such as trichlorethylene or carbon tetrachloride) due to their carcinogenic nature. Repeated replication, as described in X1.2.2, is an effective method for cleaning fractures (3, 4).

X1.3.2 When the procedures in X1.3 and X1.3.1 are unsuccessful, more drastic methods are required. Electrolytic cleaning solutions (Table X1.1), have been found to be quite useful. An inert material (stainless steel, graphite, or platinum, for example) is used as an anode, while the specimen is the cathode in the electrolytic cell. Some of these solutions can generate dangerous fumes, hence they should be used under a hood with care. Endox 214<sup>6</sup> has been found (1) to be useful for cleaning heavily rusted steel fractures.

X1.3.3 Cathodic cleaning solutions or acid-inhibited baths have also been employed to clean fractures (3, 5). However, as the degree of corrosion or oxidation increases, fracture features will be destroyed to a greater extent and cleaning, while it can remove the surface deposits, cannot restore damaged fracture features.

X1.3.4 A number of proprietary rust removal solutions have been developed. These are premixed and used directly out of the container. Two such products are described in Refs 6 and 7.

<sup>5</sup> The sole source of supply of Alconox known to the committee at this time is Alconox, Inc., New York, NY 10003. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,<sup>1</sup> which you may attend.

<sup>6</sup> The sole source of supply of Endox 214 known to the committee at this time is Enthone, Inc., West Haven, CT 06516. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,<sup>1</sup> which you may attend.



X1.3.5 Cleaning can also be accomplished by argon-ion bombardment (6) or by use of a glow-discharge method (7, 8). These methods require specialized equipment.

## X2. PRESERVING PREPARED SPECIMENS

X2.1 After specimens have been polished and possibly etched, there is usually a need to preserve that surface for others to examine, either to confirm an observation, to view problems reported, or in litigations, for the opposing experts to view the same details. If the detail to be examined may be at the origin of a failure, or may be small, it may be lost if the specimen is re-prepared. This is not a problem usually when the general microstructural conditions are to be examined.

X2.2 For short term preservation, the prepared specimen can be placed in a vacuum dessicator. Specimens that have inherent corrosion resistance can be observed without difficulty after some time in a dessicator, depending upon how frequently it is opened and room humidity. Storage in a dessicator for a long time may not be practical if a great many specimens must be stored.

X2.3 For longer term preservation, there are several options. First, one can coat the surface with a clear lacquer and then place the specimen within a closed polymeric container or wrap it up carefully with tissue and place it in a protective box or drawer. The microstructure can be seen through the lacquer, or the lacquer can be removed with the appropriate solvent. Another solution is to place a protective “cap plug” polymeric closure tightly over the polished or etched surface, or both, and then store the specimen in an appropriately marked box or drawer. A somewhat less satisfactory long-term solution is to tape a large piece of cotton over the polished and/or etched face and then place that specimen in an appropriate box or drawer.

## X3. APPLIED LOAD CONVERSIONS

X3.1 Automated preparation machines commonly display force in either pound-force (lbf) or newtons (N). The ability to convert from one unit to the other may be necessary when trying to interpret a documented procedure.

X3.1.1 To convert from pound-force to newton multiply the pound-force value by 4.5.

X3.1.2 To convert from newton to pound-force multiply the newton value by 0.225.

X3.2 When multiple specimens of equal contact area are held in a holder, the applied force must be divided by the number of specimens in the holder to determine the load per specimen.

X3.2.1 Some automated machines apply force individually to each specimen. In this case it is necessary to divide the force by the contact area to determine the load per specimen.

X3.3 Caution should be taken when using automated machines that display pressure in pound-force per square inch (psi). Typically, the machine is displaying the air pressure within the loading cylinder and not the actual pressure applied to either the specimen holder or individual specimen.

X3.4 When converting from a force to a pressure, the surface area of the specimen(s) must be determined. The value of force is then divided by the contact area to determine the required pressure.

## X4. PROCEDURE IMPROVEMENT

X4.1 To improve the preparation of a particular material, try one of the preparation methods described in Table 5, Table 6, or Table 7. Following are general guidelines that may help improve results.

X4.2 If a material is being prepared for the first time, the surface should be microscopically examined after every step.

X4.3 Before proceeding to the next step, be sure that all deformation and artifacts from the previous step, such as scratches, pull-outs or embedded grains, are completely removed. It is difficult to identify when an artifact was introduced if the specimen is not examined prior to the final step.

You must know when the artifact was introduced in order to improve the method.

X4.4 Keep the preparation times as short as possible. Excessive preparation wastes consumables and may introduce artifacts such as relief and edge rounding.

X4.5 New consumables such as polishing cloths or diamond grinding products may need to be “broken in” for a short period prior to use.

X4.6 The following section lists common preparation artifacts and prevention measures.

X4.7 *Scratches*—Scratches are grooves in the surface of the specimen produced by the points of abrasive particles.

X4.7.1 Make sure that after planar grinding the surface of all of the specimens in the holder exhibit the same uniform scratch pattern over the entire specimen. Repeat the planar grinding step if necessary.

X4.7.2 Clean the specimens and holder carefully after each step to avoid contamination.

X4.7.3 If there are still scratches left over from the previous step after finishing the current step, increase the preparation time by 25 to 50 %. If this does not work then you should consider altering the method by inserting an intermediate step.

X4.8 *Deformation*—Deformation can be classified by two types, elastic and plastic. Elastic deformation disappears when the applied load is removed. Plastic deformation, often called cold work, can be induced during sectioning, mounting, grinding, lapping or polishing. Residual plastic deformation can first be seen after etching. Only deformation that was introduced during metallographic preparation can be eliminated with procedure modification. Deformation from manufacturing operations such as bending, drawing and stretching are not considered because they cannot be removed by altering the preparation method.

X4.8.1 If the deformation is visible in brightfield in the unetched condition, please see X4.7.3 Scratches, for tips on how to improve the preparation.

X4.8.2 If after etching, the deformation is restricted to single or a few grains then it is minimal and may be removed by repeating the previous step.

X4.8.3 If after etching, the deformation is well defined covering several grains or even the whole specimen, then it may have been recently introduced. Check and clean the polishing cloth for possible contamination. Replace the cloth if results do not improve (see X4.14). Repeat the previous step.

X4.8.4 If after etching, the deformation is in the form of long, blunt lines covering several grains (with possible interruptions) then it may have been introduced from an earlier stage. Repeat the procedure starting from the fine grinding stage.

X4.9 *Smearing*—Smearing is the flow of material at the surface of the specimen. It is the result of material being “pushed” across the surface instead of being cut.

X4.9.1 Check the amount of lubricant. Smearing most often occurs when lubrication levels are too low. Increase or change the lubricant to eliminate smearing.

X4.9.2 Check the applied load. Excessive loads can result in smearing. Reduce the load to eliminate smearing.

X4.9.3 Check the abrasive size. Abrasives grains that are too small may not be effective in material removal. Increase the abrasive grain size.

X4.10 *Edge Rounding*—Edge rounding results when the edge of the specimen abrades at a greater rate than the body of the specimen.

X4.10.1 Mount the specimen. Unmounted specimens always exhibit greater edge rounding than mounted specimens.

X4.10.2 Use the correct mounting compound. There should be minimal shrinkage of the mounting compound away from the specimen. Try to match the abrasion resistance of the mounting compound closely to that of the specimen. See Section 9.

X4.10.3 If the edge rounding first occurred during grinding, consider changing the grinding substrate to a less resilient form. Also consider changing the abrasive type. Diamond abrasive is often more effective than SiC at cutting hard materials.

X4.10.4 Reduce polishing times as much as possible. Long polishing procedures often result in excessive edge rounding.

X4.10.5 Reduce applied load. Normally lower loads result in less edge rounding.

X4.10.6 Change the polishing lubricant. Oil or water/oil type lubricants may help preserve edges.

X4.10.7 Change the polishing cloth. Less resilient cloths produce better edges.

X4.10.8 If the preceding steps are ineffective then consider plating the specimen. See Section 10.

X4.11 *Relief*—Relief results when material from different phases is removed at different rates due to varying hardness or wear rate of individual phases.

X4.11.1 Relief normally first occurs during polishing. However, if there are extreme differences in the hardness between phases it may occur during grinding. If this is the case then an alternative grinding method should be considered. See Tables 5 and 6.

X4.11.2 Polishing time should be kept to a minimum.

X4.11.3 Polishing cloths that have less resiliency produce less relief (see Edge Rounding in X4.10).

X4.11.4 The polishing abrasive should be at least 2.5 times harder (on the Vickers scale) than the hardest phase being polished.

X4.12 *Pull-outs*—Pullouts are the cavities left in the surface after grains or particles are torn out during preparation.

X4.12.1 Avoid high loads during grinding and polishing.

X4.12.2 Do not use coarse abrasives for Planar or Fine grinding steps.

X4.12.3 Do not make large abrasive size jumps between preparation steps. Insert an intermediate step if necessary.

X4.12.4 Napless polishing cloths produce less pull-out than napped cloths.

X4.12.5 Every step has to remove the damage from the previous step, and has to introduce as little damage as possible.

X4.12.6 Check the specimen after every step in order to find out when the pull-out occurs.

X4.13 *Gaps*—Gaps are the voids between the mounting compound and the specimen. Gaps can result in a variety of preparation artifacts such as edge rounding, contamination and staining.

X4.13.1 Clean and dry the specimen thoroughly prior to mounting.

X4.13.2 Select a mounting compound with low shrinkage (see Section 9).

X4.13.3 For hot compression mounting, cool the specimen under pressure.

X4.13.4 For castable mounting compounds, avoid high curing temperatures. It may be necessary to cool the specimen during the curing.

X4.13.5 Specimen height should be kept as low as practical to minimize gaps when using hot compression mounting.

X4.14 *Contamination*—Contamination is material from a source other than the specimen itself which is deposited on the specimen surface during grinding or polishing.

X4.14.1 Thoroughly clean the specimen between preparation steps (see 11.2.5, 11.3.3).

X4.14.2 Store grinding and polishing discs in a clean, dust-free environment.

X4.14.3 Change grinding or polishing substrate/abrasive if necessary.

X4.15 *Embedded Abrasive*—Embedded abrasive results when loose grinding, lapping, or polishing abrasive sticks into the surface of the specimen.

X4.15.1 Embedded abrasive is most common with soft non-ferrous materials.

X4.15.2 Change to a more resilient grinding substrate.

X4.15.3 Use a block of paraffin or candle to “pick up” loose SiC particles on fine grit papers. This is done by lightly passing the paraffin block across the paper.

X4.15.4 Change to a more resilient polishing substrate when using diamond abrasives that are less than 3µm in diameter.

X4.15.5 Change to an oil or water/oil-based polishing lubricant.

X4.16 *Lapping Tracks*—Lapping tracks are indentations on the specimen surface made by abrasive particles moving freely (rolling) on a hard surface. Lapping tracks can be produced during both grinding and polishing.

X4.16.1 Change to a more resilient grinding or polishing substrate.

X4.16.2 Increase the applied load in 10 % increments until the lapping tracks disappear.

X4.16.3 Employ optimal dynamics.

## REFERENCES

- (1) Yuzawich, P. M., and Hughes, C. W., “An Improved Technique for Removal of Oxide Scale from Fractured Surfaces of Ferrous Materials,” *Practical Metallography*, Vol 15, April 1978, pp. 184–195.
- (2) Zipp, R. D., “Preservation and Cleaning of Fracture for Fractography,” *Scanning Electron Microscopy*, Part I, 1979, pp. 355–362.
- (3) Russ, J. C., and Miller, G. A., “Effect of Oxidation on the Electron Fractographic Interpretation of Fractures in Steel,” *Journal, Iron and Steel Institute*, Vol 207, December 1969, pp. 1635–1638.
- (4) Pickwick, K. M., and Smith, E., “The Effect of Surface Contamination in SEM Fractographic Investigations,” *Micron*, Vol 3, No. 2, 1972, pp. 224–237.
- (5) Lane, G. S., and Ellis, J., “The Examination of Corroded Fracture Surfaces in the Scanning Electron Microscope,” *Corrosion Science*, Vol 11, September 1971, pp. 661–663.
- (6) Macmillan, J. W., and Flewitt, P. E. J., “Assessment of Methods for Cleaning Oxide from Fracture Surfaces for Examination in a Scanning Electron Microscope,” *Micron*, Vol 6, No. 3/4, 1975, pp. 141–146.
- (7) ASTM Task Group E24.02, “Clean Surfaces for Fractography,” ASTM STP 600, ASTM, Philadelphia, PA, 1976, pp. 251–253.
- (8) Hajicek, D. J., et al, “Development of a Cleaning Method for SEM Fractographic Analysis of Impulsively Loaded Cylinders,” *Microstructural Science*, Vol 5, Elsevier, NY, 1977, pp. 413–421.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT).*

# **ANEXO II**



Designation: D 695 – 02a

## Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 695; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

### 1. Scope \*

1.1 This test method covers the determination of the mechanical properties of unreinforced and reinforced rigid plastics, including high-modulus composites, when loaded in compression at relatively low uniform rates of straining or loading. Test specimens of standard shape are employed.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are for information only.

NOTE 1—For compressive properties of resin-matrix composites reinforced with oriented continuous, discontinuous, or cross-ply reinforcements, tests may be made in accordance with Test Method D 3410.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* A specific precautionary statement is given in Note 11.

NOTE 2—This test method is technically equivalent to ISO 604.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

- D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing<sup>2</sup>
- D 638 Test Method for Tensile Properties of Plastics<sup>2</sup>
- D 883 Terminology Relating to Plastics<sup>2</sup>
- D 3410 Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials with Unsupported Gage Section by Shear Loading<sup>3</sup>
- D 4000 Classification System for Specifying Plastic Materials<sup>4</sup>
- D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials<sup>4</sup>
- D 5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens<sup>5</sup>

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties. Current edition approved August 10, 2002. Published October 2002. Originally published as D 695 – 42 T. Last previous edition D 695 – 02.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.03.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.03.

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>6</sup>
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers<sup>6</sup>
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>7</sup>

### 3. Terminology

3.1 General—The definitions of plastics used in this test method are in accordance with Terminology D 883 unless otherwise indicated.

#### 3.2 Definitions:

3.2.1 *compressive deformation*—the decrease in length produced in the gage length of the test specimen by a compressive load. It is expressed in units of length.

3.2.2 *compressive strain*—the ratio of compressive deformation to the gage length of the test specimen, that is, the change in length per unit of original length along the longitudinal axis. It is expressed as a dimensionless ratio.

3.2.3 *compressive strength*—the maximum compressive stress (nominal) carried by a test specimen during a compression test. It may or may not be the compressive stress (nominal) carried by the specimen at the moment of rupture.

3.2.4 *compressive strength at failure (nominal)*—the compressive stress (nominal) sustained at the moment of failure of the test specimen if shattering occurs.

3.2.5 *compressive stress (nominal)*—the compressive load per unit area of minimum original cross section within the gage boundaries, carried by the test specimen at any given moment. It is expressed in force per unit area.

3.2.5.1 *Discussion*—The expression of compressive properties in terms of the minimum original cross section is almost universally used. Under some circumstances the compressive properties have been expressed per unit of prevailing cross section. These properties are called “true” compressive properties.

3.2.6 *compressive stress-strain diagram*—a diagram in which values of compressive stress are plotted as ordinates against corresponding values of compressive strain as abscissas.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

<sup>7</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

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

3.2.7 *compressive yield point*—the first point on the stress-strain diagram at which an increase in strain occurs without an increase in stress.

3.2.8 *compressive yield strength*—normally the stress at the yield point (see also section 3.2.11).

3.2.9 *crushing load*—the maximum compressive force applied to the specimen, under the conditions of testing, that produces a designated degree of failure.

3.2.10 *modulus of elasticity*—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain below the proportional limit of a material. It is expressed in force per unit area based on the average initial cross-sectional area.

3.2.11 *offset compressive yield strength*—the stress at which the stress-strain curve departs from linearity by a specified percent of deformation (offset).

3.2.12 *percent compressive strain*—the compressive deformation of a test specimen expressed as a percent of the original gage length.

3.2.13 *proportional limit*—the greatest stress that a material is capable of sustaining without any deviation from proportionality of stress to strain (Hooke's law). It is expressed in force per unit area.

3.2.14 *slenderness ratio*—the ratio of the length of a column of uniform cross section to its least radius of gyration. For specimens of uniform rectangular cross section, the radius of gyration is 0.289 times the smaller cross-sectional dimension. For specimens of uniform circular cross section, the radius of gyration is 0.250 times the diameter.

#### 4. Significance and Use

4.1 Compression tests provide information about the compressive properties of plastics when employed under conditions approximating those under which the tests are made.

4.2 Compressive properties include modulus of elasticity, yield stress, deformation beyond yield point, and compressive strength (unless the material merely flattens but does not fracture). Materials possessing a low order of ductility may not exhibit a yield point. In the case of a material that fails in compression by a shattering fracture, the compressive strength has a very definite value. In the case of a material that does not fail in compression by a shattering fracture, the compressive strength is an arbitrary one depending upon the degree of distortion that is regarded as indicating complete failure of the material. Many plastic materials will continue to deform in compression until a flat disk is produced, the compressive stress (nominal) rising steadily in the process, without any well-defined fracture occurring. Compressive strength can have no real meaning in such cases.

4.3 Compression tests provide a standard method of obtaining data for research and development, quality control, acceptance or rejection under specifications, and special purposes. The tests cannot be considered significant for engineering design in applications differing widely from the load-time scale of the standard test. Such applications require additional tests such as impact, creep, and fatigue.

4.4 Before proceeding with this test method, reference should be made to the ASTM specification for the material being tested. Any test specimen preparation, conditioning, dimensions, and testing parameters covered in the materials

specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there is no material specification, then the default conditions apply. Table 1 in Classification D 4000 lists the ASTM materials standards that currently exist.

#### 5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—Any suitable testing machine capable of control of constant-rate-of-crosshead movement and comprising essentially the following:

5.1.1 *Drive Mechanism*—A drive mechanism for imparting to the movable cross-head member, a uniform, controlled velocity with respect to the base (fixed member), with this velocity to be regulated as specified in Section 9.

5.1.2 *Load Indicator*—A load-indicating mechanism capable of showing the total compressive load carried by the test specimen. The mechanism shall be essentially free from inertia-lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy of  $\pm 1\%$  of the maximum indicated value of the test (load). The accuracy of the testing machine shall be verified at least once a year in accordance with Practices E 4.

5.2 *Compressometer*—A suitable instrument for determining the distance between two fixed points on the test specimen at any time during the test. It is desirable that this instrument automatically record this distance (or any change in it) as a function of the load on the test specimen. The instrument shall be essentially free of inertia-lag at the specified rate of loading and shall conform to the requirements for a Class B-2 extensometer as defined in Practice E 83.

NOTE 3—The requirements for extensometers cited herein apply to compressometers as well.

5.3 *Compression Tool*—A compression tool for applying the load to the test specimen. This tool shall be so constructed that loading is axial within 1:1000 and applied through surfaces that are flat within 0.025 mm (0.001 in.) and parallel to each other in a plane normal to the vertical loading axis. Examples of suitable compression tools are shown in Fig. 1 and Fig. 2.

5.4 *Supporting Jig*—A supporting jig for thin specimens is shown in Fig. 3 and Fig. 4.

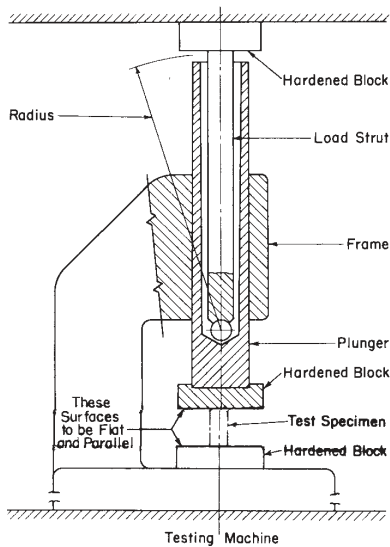
5.5 *Micrometers*—Suitable micrometers, reading to 0.01 mm or 0.001 in. for measuring the width, thickness, and length of the specimens.

#### 6. Test Specimens

6.1 Unless otherwise specified in the materials specifications, the specimens described in 6.2 and 6.7 shall be used. These specimens may be prepared by machining operations from materials in sheet, plate, rod, tube, or similar form, or they may be prepared by compression or injection molding of the material to be tested. All machining operations shall be done carefully so that smooth surfaces result. Great care shall be taken in machining the ends so that smooth, flat parallel surfaces and sharp, clean edges, to within 0.025 mm (0.001 in.) perpendicular to the long axis of the specimen, result.

6.2 The standard test specimen, except as indicated in 6.3-6.7, shall be in the form of a right cylinder or prism whose length is twice its principal width or diameter. Preferred specimen sizes are 12.7 by 12.7 by 25.4 mm (0.50 by 0.50 by





NOTE 1—Devices similar to the one illustrated have been successfully used in a number of different laboratories. Details of the device developed at the National Institute for Standards and Technology are given in the paper by Aitchinson, C. S., and Miller, J. A., "A Subpress for Compressive Tests," National Advisory Committee for Aeronautics, Technical Note No. 912, 1943.

FIG. 1 Subpress for Compression Tests

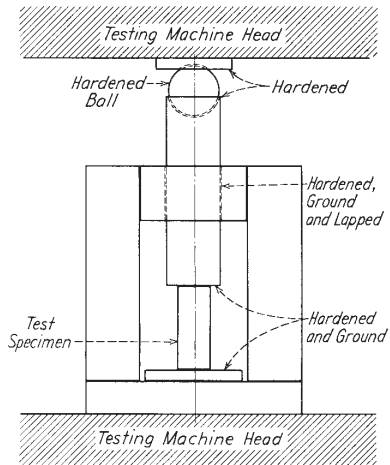
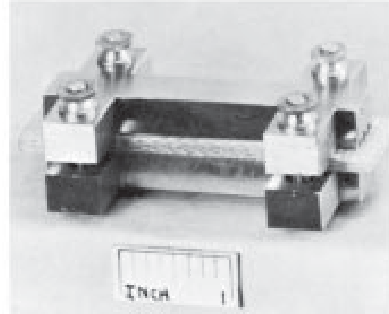


FIG. 2 Compression Tool

1 in.) (prism), or 12.7 mm in diameter by 25.4 mm (cylinder). Where elastic modulus and offset yield-stress data are desired, the test specimen shall be of such dimensions that the slenderness ratio is in the range from 11 to 16:1. In this case, preferred specimen sizes are 12.7 by 12.7 by 50.8 mm (0.50 by 0.50 by 2 in.) (prism), or 12.7 mm in diameter by 50.8 mm (cylinder).

6.3 For rod material, the test specimen shall have a diameter equal to the diameter of the rod and a sufficient length to allow a specimen slenderness ratio in the range from 11 to 16:1.



6.4 When testing tubes, the test specimen shall have a diameter equal to the diameter of the tube and a length of 25.4 mm (1 in.) (Note 4). For crushing-load determinations (at right angles to the longitudinal axis), the specimen size shall be the same, with the diameter becoming the height.

NOTE 4—This specimen can be used for tubes with a wall thickness of 1 mm (0.039 in.) or over, to inside diameters of 6.4 mm (0.25 in.) or over, and to outside diameters of 50.8 mm (2.0 in.) or less.

6.5 Where it is desired to test conventional high-pressure laminates in the form of sheets, the thickness of which is less than 25.4 mm (1 in.), a pile-up of sheets 25.4 mm square, with a sufficient number of layers to produce a height of at least 25.4 mm, may be used.

6.6 When testing material that may be suspected of anisotropy, duplicate sets of test specimens shall be prepared having their long axis respectively parallel with and normal to the suspected direction of anisotropy.

6.7 Reinforced Plastics, Including High-Strength Composites and High-Strength Composites and Highly Orthotropic Laminates—The following specimens shall be used for reinforced materials, or for other materials when necessary to comply with the slenderness ratio requirements or to permit attachment of a deformation-measuring device.

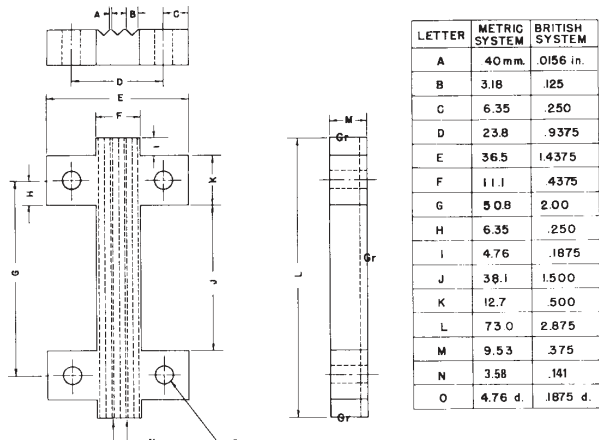
6.7.1 For materials 3.2 mm (1/8 in.) and over in thickness, a specimen shall consist of a prism having a cross section of 12.7 mm (1/2 in.) by the thickness of the material and a length such that the slenderness ratio is in the range from 11 to 16:1 (Note 5).

6.7.2 For materials under 3.2 mm (1/8 in.) thick, or where elastic modulus testing is required and the slenderness ratio does not provide for enough length for attachment of a compressometer or similar device, a specimen conforming to that shown in Fig. 5 shall be used. The supporting jig shown in Fig. 3 and Fig. 4 shall be used to support the specimen during testing (Note 6).

NOTE 5—If failure for materials in the thickness range of 3.2 mm (1/8 in.) is by delamination rather than by the desirable shear plane fracture, the material may be tested in accordance with 6.7.2.

NOTE 6—Round-robin tests have established that relatively satisfactory measurements of modulus of elasticity may be obtained by applying a compressometer to the edges of the jig-supported specimen.

ASTM D 695 - 02a



NOTE 1—Cold rolled steel.  
 NOTE 2—Furnished four steel machine screws and nuts, round head, slotted, length 31.75 mm (1¼ in.).  
 NOTE 3—Grind surfaces denoted “Gr.”

FIG. 4 Support Jig, Details

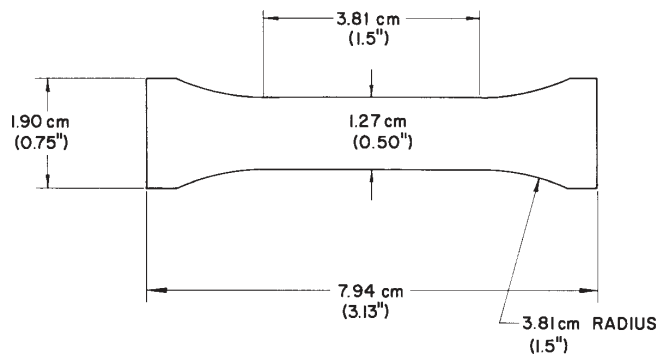


FIG. 5 Compression Test Specimen for Materials Less than 3.2 mm Thick

6.8 When testing syntactic foam, the standard test specimen shall be in the form of a right cylinder 25.4 mm (1 in.) in diameter by 50.8 mm (2 in.) in length.

**7. Conditioning**

7.1 *Conditioning*—Condition the test specimens at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) and  $50 \pm 5\%$  relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Practice D 618 unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification. Reference pre-test conditioning, to settle disagreements, shall apply tolerances of  $\pm 1^\circ\text{C}$  ( $1.8^\circ\text{F}$ ) and  $\pm 2\%$  relative humidity.

7.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as nylons, the material specifications (for example, Classification System D 4066) call for testing “dry as-molded specimens.” Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

7.2 *Test Conditions*—Conduct the tests at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) and  $50 \pm 5\%$  relative humidity unless otherwise

specified by contract or the relevant ASTM material specification. Reference testing conditions, to settle disagreements, shall apply tolerances of  $\pm 1^\circ\text{C}$  ( $1.8^\circ\text{F}$ ) and  $\pm 2\%$  relative humidity.

**8. Number of Test Specimens**

8.1 At least five specimens shall be tested for each sample in the case of isotropic materials.

8.2 Ten specimens, five normal to and five parallel with the principal axis of anisotropy, shall be tested for each sample in the case of anisotropic materials.

8.3 Specimens that break at some obvious flaw shall be discarded and retests made, unless such flaws constitute a variable, the effect of which it is desired to study.

**9. Speed of Testing**

9.1 Speed of testing shall be the relative rate of motion of the grips or test fixtures during the test. Rate of motion of the driven grip or fixture when the machine is running idle may be used if it can be shown that the resulting speed of testing is within the limits of variation allowed.



9.2 The standard speed of testing shall be  $1.3 \pm 0.3$  mm ( $0.050 \pm 0.010$  in./min), except as noted in 10.5.4.

## 10. Procedure

10.1 Measure the width and thickness of the specimen to the nearest 0.01 mm (0.001 in.) at several points along its length. Calculate and record the minimum value of the cross-sectional area. Measure the length of the specimen and record the value.

10.2 Place the test specimen between the surfaces of the compression tool, taking care to align the center line of its long axis with the center line of the plunger and to ensure that the ends of the specimen are parallel with the surface of the compression tool. Adjust the crosshead of the testing machine until it just contacts the top of the compression tool plunger.

NOTE 7—The compression tool may not be necessary for testing of lower modulus (for example, 700 MPa to 3500 MPa (100 000 psi to 500 000 psi)) material if the loading surfaces are maintained smooth, flat, and parallel to the extent that buckling is not incurred.

10.3 Place thin specimens in the jig (Fig. 3 and Fig. 4) so that they are flush with the base and centered (Note 8). The nuts or screws on the jig shall be finger tight (Note 9). Place the assembly in the compression tool as described in 5.3.

NOTE 8—A round-robin test, designed to assess the influence of specimen positioning in the supporting jig (that is, flush versus centered mounting), showed no significant effect on compressive strength due to this variable. However, flush mounting of the specimen with the base of the jig is specified for convenience and ease of mounting.<sup>8</sup>

NOTE 9—A round-robin test on the effect of lateral pressure at the supporting jig has established that reproducible data can be obtained with the tightness of the jig controlled as indicated.

10.4 If only compressive strength or compressive yield strength, or both, are desired, proceed as follows:

10.4.1 Set the speed control at 1.3 mm/min (0.050 in./min) and start the machine.

10.4.2 Record the maximum load carried by the specimen during the test (usually this will be the load at the moment of rupture).

10.5 If stress-strain data are desired, proceed as follows:

10.5.1 Attach compressometer.

10.5.2 Set the speed control at 1.3 mm/min (0.050 in./min) and start the machine.

10.5.3 Record loads and corresponding compressive strain at appropriate intervals of strain or, if the test machine is equipped with an automatic recording device, record the complete load-deformation curve.

10.5.4 After the yield point has been reached, it may be desirable to increase the speed from 5 to 6 mm/min (0.20 to 0.25 in./min) and allow the machine to run at this speed until the specimen breaks. This may be done only with relatively ductile materials and on a machine with a weighing system with response rapid enough to produce accurate results.

## 11. Calculation

11.1 *Compressive Strength*—Calculate the compressive strength by dividing the maximum compressive load carried by

the specimen during the test by the original minimum cross-sectional area of the specimen. Express the result in megapascals or pounds-force per square inch and report to three significant figures.

11.2 *Compressive Yield Strength*—Calculate the compressive yield strength by dividing the load carried by the specimen at the yield point by the original minimum cross-sectional area of the specimen. Express the result in megapascals or pounds-force per square inch and report to three significant figures.

11.3 *Offset Yield Strength*—Calculate the offset yield strength by the method referred to in 3.2.11.

11.4 *Modulus of Elasticity*—Calculate the modulus of elasticity by drawing a tangent to the initial linear portion of the load deformation curve, selecting any point on this straight line portion, and dividing the compressive stress represented by this point by the corresponding strain, measure from the point where the extended tangent line intersects the strain-axis. Express the result in gigapascals or pounds-force per square inch and report to three significant figures (see Annex A1).

11.5 For each series of tests, calculate to three significant figures the arithmetic mean of all values obtained and report as the “average value” for the particular property in question.

11.6 Calculate the standard deviation (estimated) as follows and report to two significant figures:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2)/(n - 1)} \quad (1)$$

where:

$s$  = estimated standard deviation,

$X$  = value of single observation,

$n$  = number of observations, and

$\bar{X}$  = arithmetic mean of the set of observations.

NOTE 10—The method for determining the offset compressive yield strength is similar to that described in the Annex of Test Method D 638.

## 12. Report

12.1 Report the following information:

12.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer’s code number, form, principal dimensions, previous history, etc.,

12.1.2 Method of preparing test specimens,

12.1.3 Type of test specimen and dimensions,

12.1.4 Conditioning procedure used,

12.1.5 Atmospheric conditions in test room,

12.1.6 Number of specimens tested,

12.1.7 Speed of testing,

12.1.8 Compressive strength, average value, and standard deviation,

12.1.9 Compressive yield strength and offset yield strength average value, and standard deviation, when of interest,

12.1.10 Modulus of elasticity in compression (if required), average value, standard deviation,

12.1.11 Date of test, and

12.1.12 Date of test method.

<sup>8</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D20-1061.

### 13. Precision and Bias <sup>9</sup>

13.1 Table 1 and Table 2 are based on a round-robin test

**TABLE 1 Precision, Compressive Strength**  
(Values in Units of Megapascals)

Material	Average	$S_r^A$	$S_R^B$	$r^C$	$R^D$
Acetal	100	1.1	2.1	3.1	5.9
Polystyrene	106	1.4	3.5	3.9	9.8
Linen-filled phenolic	158	3.7	7.5	10.4	21.0

<sup>A</sup>  $S_r$  is the within-laboratory standard deviation for the indicated material. It is obtained by pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all of the participating laboratories:

$$S_r = \left[ \frac{(S_1)^2 + (S_2)^2 + \dots + (S_n)^2}{n} \right]^{1/2}$$

<sup>B</sup>  $S_R$  is the between-laboratories reproducibility, expressed as a standard deviation, for the indicated material.

<sup>C</sup>  $r$  is the within-laboratory repeatability limit,  $r = 2.8 \times S_r$ .

<sup>D</sup>  $R$  is the between-laboratory reproducibility limit,  $R = 2.8 \times S_R$ .

**TABLE 2 Precision, Compressive Modulus**  
(Values in Units of Megapascals)

Material	Average	$S_r^A$	$S_R^B$	$r^C$	$R^D$
Acetal	3.28	0.14	0.25	0.39	0.70
Polystyrene	3.88	0.07	0.74	0.20	2.07
Linen-filled phenolic	6.82	0.23	0.90	0.64	2.52

<sup>A</sup>  $S_r$  is the within-laboratory standard deviation for the indicated material. It is obtained by pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all of the participating laboratories:

$$S_r = \left[ \frac{(S_1)^2 + (S_2)^2 + \dots + (S_n)^2}{n} \right]^{1/2}$$

<sup>B</sup>  $S_R$  is the between-laboratories reproducibility, expressed as a standard deviation, for the indicated material.

<sup>C</sup>  $r$  is the within-laboratory repeatability limit,  $r = 2.8 \times S_r$ .

<sup>D</sup>  $R$  is the between-laboratory reproducibility limit,  $R = 2.8 \times S_R$ .

conducted in 1987 in accordance with Practice E 691, involving three materials tested by six laboratories for Test Method D 695M. Since the test parameters overlap within tolerances and the test values are normalized, the same data are used for both test methods. For each material, all of the samples were

<sup>9</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters, Request RR: D20-1150.

prepared at one source. Each test result was the average of five individual determinations. Each laboratory obtained two test results for each material.

NOTE 11—**Caution:** The following explanations of  $r$  and  $R$  (13.2-13.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Table 1 and Table 2 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as these data apply only to the materials tested in the round robin and are unlikely to be rigorously representative of other lots, formulations, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data specific to their laboratory and materials or between specific laboratories. The principles of 13.2-13.2.3 would then be valid for such data.

13.2 *Concept of  $r$  and  $R$  in Table 1 and Table 2*—If  $S(r)$  and  $S(R)$  have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were averages from testing of five specimens for each test result, then:

13.2.1 *Repeatability*—Two test results obtained within one laboratory shall be judged not equivalent if they differ by more than the “ $r$ ” for that the material. “ $r$ ” is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day in the same laboratory.

13.2.2 *Reproducibility,  $R$* —Two test results obtained by different laboratories shall be judged not equivalent if they differ by more than the “ $R$ ” value for that material. “ $R$ ” is the interval representing the critical difference between the two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment in different laboratories.

13.2.3 Any judgement in accordance with 13.2.1 and 13.2.2 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

13.3 There are no recognized standards by which to estimate the bias of this test method.

### 14. Keywords

14.1 compressive properties; compressive strength; modulus of elasticity; plastics

## ANNEX

### (Mandatory Information)

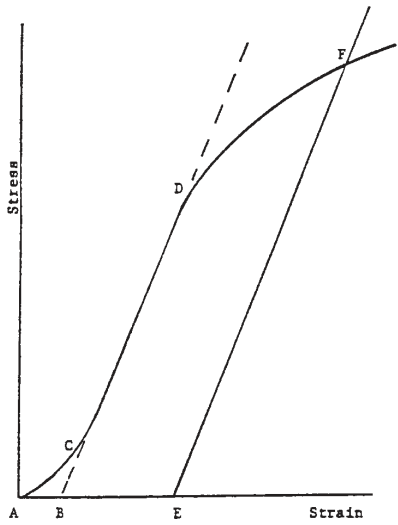
#### A1. TOE COMPENSATION

A1.1 In a typical stress-strain curve (Fig. A1.1) there is a toe region,  $AC$ , that does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a takeup of slack, and alignment or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as modulus, strain, and offset yield point, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the strain or extension axis.

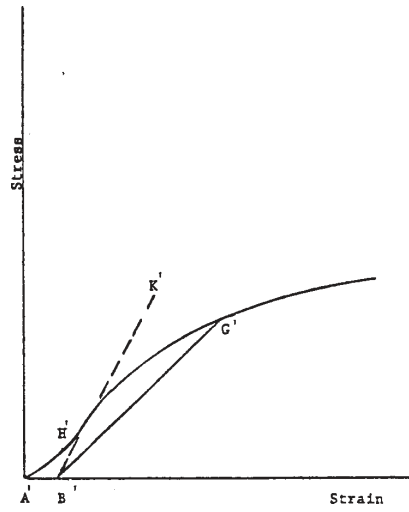
A1.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (Fig. A1.1), a continuation of the linear ( $CD$ ) region of the curve is constructed through the zero-stress axis. This intersection ( $B$ ) is the corrected zero-strain point from which all extensions or strains must be

measured, including the yield offset ( $BE$ ), if applicable. The elastic modulus can be determined by dividing the stress at any point along the line  $CD$  (or its extension) by the strain at the same point (measured from Point  $B$ , defined as zero-strain).

A1.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (Fig. A1.2), the same kind of toe correction of the zero-strain point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection point ( $H'$ ). This is extended to intersect the strain axis at Point  $B'$ , the corrected zero-strain point. Using Point  $B'$  as zero strain, the stress at any point ( $G'$ ) on the curve can be divided by the strain at that point to obtain a secant modulus (slope of line  $B'G'$ ). For those materials with



NOTE 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.  
**FIG. A1.1 Material with Hookean Region**



NOTE 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.  
**FIG. A1.2 Material with No Hookean Region**

no linear region, any attempt to use the tangent through the inflection point as a basis for determination of an offset yield point may result in unacceptable error.

## SUMMARY OF CHANGES

This section identifies the location of selected changes to this test method. For the convenience of the user, Committee D20 has highlighted those changes that may impact the use of this test method. This section may also include descriptions of the changes or reasons for the changes, or both.

### *D695–02a:*

- (1) Added Terminology D 883.
- (2) Added Test Methods D 5947.
- (3) Added 3.1, adjusted numbering throughout Section 3.
- (4) Changed reference in 3.2.8 from 3.11 to 3.2.11.
- (5) Deleted last sentence of 4.1.
- (6) Added last sentence to 4.4.

- (7) Reworded 5.1.1 to improve readability
- (8) Changed “fortuitous flow” to “flaw” in 8.3.
- (9) Reworded Note 11, 13.2, 13.2.1, and 13.2.2 to be in accordance with Guide D 4968.
- (10) Corrected the title of Fig. 3.

### *D695–02:*

- (1) Revised 7.1 and 7.2.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*

# **ANEXO III**



## Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 2240, the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

### 1. Scope

1.1 This test method describes eight types of rubber hardness measurement devices known as durometers: types A, B, C, D, DO, O, OO and M. The procedure for determining indentation hardness of substances classified as thermoplastic elastomers, vulcanized (thermoset) rubber, elastomeric materials, cellular materials, and some plastics is also described.

1.2 This test method is not equivalent to other indentation hardness methods and instrument types, specifically those described in ASTM D 1415.

1.3 This test method is not applicable to the testing of coated fabrics.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are for information only. Many of the stated dimensions in SI are direct conversions from the U. S. Customary System to accommodate the instrumentation, practices and procedures that existed prior to the Metric Conversion Act of 1975.

1.5 All materials, instruments, or equipment used for the determination of mass, force or dimension shall have traceability to the National Institute for Standards and Technology, or other internationally recognized organization parallel in nature.

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

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

D 374 Standard Test Method for Thickness of Solid Electrical Insulation<sup>2</sup>

D 618 Practice for Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing<sup>3</sup>

D 785 Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials<sup>2</sup>

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D11 on Rubber and is the direct responsibility of Subcommittee D11.10 on Physical Tests.

Current edition approved May 10, 2000. Published August 2000. Originally published as D 2240 – 64 T. Last previous edition D 2240 – 95.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

D 1349 Practice for Rubber—Standard Temperatures For Testing<sup>4</sup>

D 1415 Standard Test Method for Rubber Property – International Hardness<sup>4</sup>

D 4483 Practice for Determining Precision for Test Method Standards in the Rubber and Carbon Black Industries<sup>4</sup>

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>5</sup>

### 3. Summary of Test Method

3.1 This test method permits hardness measurements based on either initial indentation or indentation after a specified period of time, or both. Durometers with maximum reading indicators used to determine maximum hardness values of a material may yield lower hardness when the maximum indicator is used.

3.2 The procedures for Type M, or micro hardness durometers, accommodate specimens that are, by their dimensions or configuration, ordinarily unable to have their durometer hardness determined by the other durometer types described. Type M durometers are intended for the testing of specimens having a thickness or cross sectional diameter of 1.25 mm (0.050 in) or greater, although specimens of lesser dimensions may be successfully accommodated under the conditions specified in Section 6, and have a Type M durometer hardness range of between 20 and 90. Those specimens which have a durometer hardness range other than specified shall use another suitable procedure for determining durometer hardness.

### 4. Significance and Use

4.1 This test method is based on the penetration of a specific type of indenter when forced into the material under specified conditions. The indentation hardness is inversely related to the penetration and is dependent on the elastic modulus and viscoelastic behavior of the material. *The geometry of the indenter and the applied force influence the measurements such that no simple relationship exists between the measurements obtained with one type of durometer and those obtained with another type of durometer or other instruments used for measuring hardness.* This test method is an empirical test intended primarily for control purposes. No simple relationship

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 09.01.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

exists between indentation hardness determined by this test method and any fundamental property of the material tested. For specification purposes it is recommended that ASTM Test Method D 785 be used for materials other than those described in 1.1.

5. Apparatus

5.1 Hardness measuring apparatus, or durometer, and an operating stand, Type 1, Type 2, or Type 3, refer to Section 5.1.2, consisting of the following components:

5.1.1 Durometer

5.1.1.1 Presser Foot, with an orifice (to allow for the protrusion of the indenter) having a diameter as specified in Fig. 1a, Fig. 1b, or Fig. 1c, with the center a minimum of 6.0 mm (0.24 in) from any edge of the foot.

5.1.1.2 Presser Foot, Type M, with an orifice (to allow for the protrusion of the indenter) having a diameter as specified in Fig. 1d, with the center a minimum of 1.60 mm (0.063 in) from any edge of the flat circular presser foot.

5.1.1.3 Indentor, formed from steel rod and hardened to 500 HV10 and shaped in accordance with Fig. 1a, Fig. 1b, or Fig. 1c, polished over the contact area so that no flaws are visible under 20× magnification, with an indenter extension of 2.50 ± 0.04 mm (0.098 ± 0.002 in).

5.1.1.4 Indentor, Type M, formed from steel rod and hardened to 500 HV10 and shaped in accordance with Fig. 1d, polished over the contact area so that no flaws are visible under 50× magnification, with an indenter extension of 1.25 ± 0.02 mm (0.049 ± 0.001 in).

5.1.1.5 Indentor Extension Indicator, (analog or digital electronic), having a display that is an inverse function of the indenter extension. The display shall indicate from 0 to 100 with equal divisions throughout the range at a rate of one hardness point for each 0.025 mm (0.001 in) of indenter movement, for Type M durometers, the display shall indicate from 0 to 100 with no less than 100 equal divisions at a rate of one hardness point for each 0.0125 mm (0.0005 in) of indenter movement.

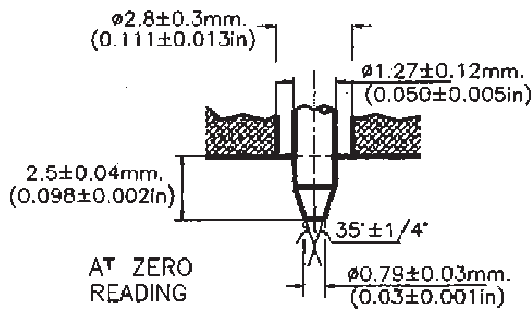


Figure 1a Type A and C Indentor

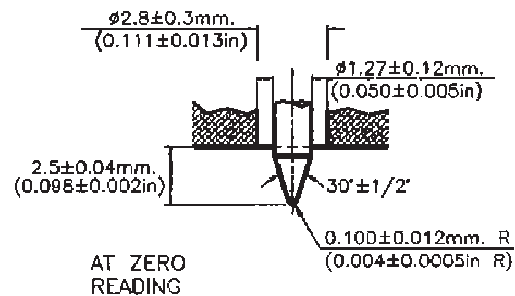


Figure 1b Type B and D Indentor

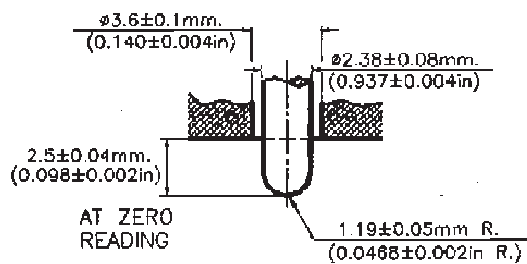


Figure 1c O, DO, and oo Indentor

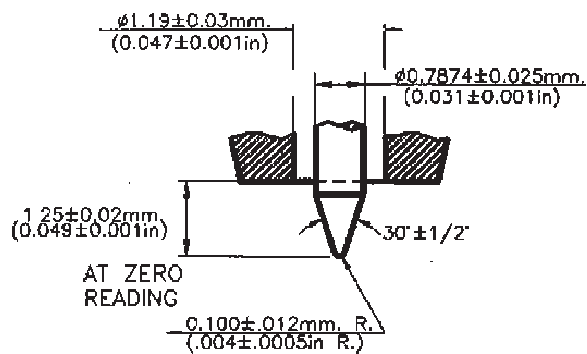


Figure 1d Type M Indentor

FIG. 1 Durometers

5.1.1.6 Timing Device (optional), capable of being set to a desired elapsed time, signaling the operator or holding the hardness reading when the desired elapsed time has been reached. The timer shall be automatically activated when the presser foot is in contact with the specimen being tested, e.g., the initial indenter travel has ceased. Digital electronic durometers may be equipped with electronic timing devices that shall not affect the indicated reading or determinations attained by more than one half the calibration tolerance stated in Table 1.

5.1.1.7 Maximum indicators (optional), maximum indicating pointers are auxiliary analog indicating hands designed to remain at the maximum hardness value attained until reset by the operator. Electronic maximum indicators are digital displays electronically indicating and maintaining the maximum value hardness value achieved, until reset by the operator.

5.1.1.8 Analog maximum indicating pointers have been shown to have a nominal affect on the values attained, however this affect is greater on durometers of lesser total mainspring loads, e.g., the affect of a maximum indicating pointer on Type D durometer determinations will be less than those determinations achieved using a Type A durometer. Analog style durometers may be equipped with maximum indicating pointers. The affect of a maximum indicating pointer shall be noted at the time of calibration in the calibration report, refer to Section 10.1.4, and when reporting hardness determinations, refer to Section 10.2.4. Analog Type M durometers shall not be equipped with maximum indicating pointers.

5.1.1.9 Digital electronic durometers may be equipped with electronic maximum indicators that shall not affect the indicated reading or determinations attained by more than one half of the spring calibration tolerance stated in Table 1.

5.1.1.10 Calibrated Spring, for applying force to the indenter, in accordance with Fig. 1a through Fig. 1d and capable of applying the forces as specified in Table 1.

5.1.2 Operating Stand

5.1.2.1 Type 1, Type 2, and Type 3, shall be capable of supporting the durometer presser foot surface parallel to the specimen support table (Fig. 2) throughout the travel of each. The durometer presser foot to specimen support table parallelism shall be verified each time the test specimen support table is adjusted to accommodate specimens of varying dimensions. This may be accomplished by applying the durometer presser foot to the point of contact with the specimen support table and

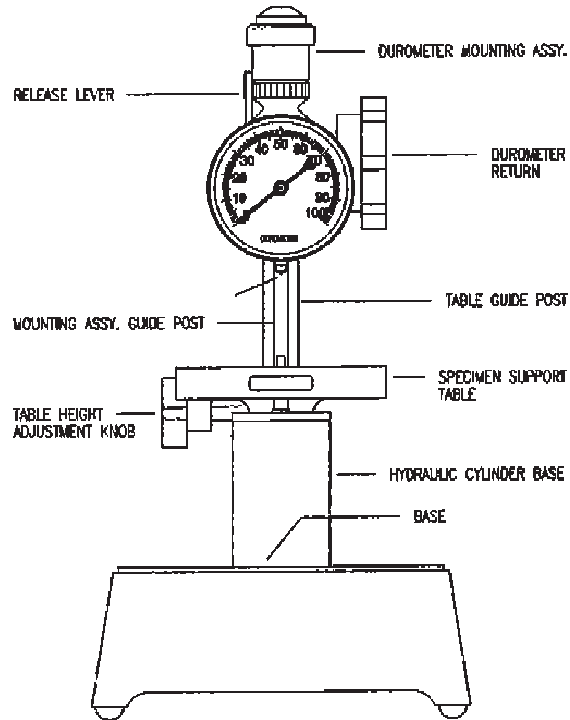


FIG. 2 Durometer Operating Stand

making adjustments by way of the durometer mounting assembly or as specified by the manufacturer.

5.1.2.2 Operating Stand, Type 1 (specimen to indenter type), shall be capable of applying the specimen to the indenter in a manner that minimizes shock.

5.1.2.3 Operating Stand, Type 2 (indenter to specimen type), shall be capable of controlling the rate of descent of the indenter to the specimen at a maximum of 3.20 mm/s (0.125 in/s) and applying a force sufficient to overcome the calibrated spring force as shown in Table 1.

5.1.2.4 Operating Stand, Type 3 (indenter to specimen type), hydraulic dampening, pneumatic dampening or electro-mechanical (required for the operation of Type M durometers) shall be capable of controlling the rate of descent of the indenter to the specimen at a maximum of 3.2 mm/s (0.125 in/s) and applying a force sufficient to overcome the calibrated spring force as shown in Table 1. Manual application, Type 1 or Type 2 operating stands are not acceptable for Type M durometer operation.

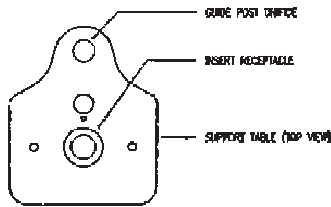
5.1.2.5 The entire instrument should be plumb and level, and resting on a surface that will minimize vibration. Operating the instrument under adverse conditions will negatively affect the determinations attained.

5.1.2.6 Specimen Support Table, (Fig. 2) integral to the operating stand, and having a solid flat surface. The specimen support platform may have orifices designed to accept various inserts or support fixtures (Fig. 3) to provide for the support of irregularly configured specimens. When inserts are used to

TABLE 1 Durometer Spring Force Calibration  
All Values are in N

Indicated Value	Type M	Type A, B, O	Type C, D, DO	Type OO
0	0.384	0.55		0.203
10	0.368	1.3	4.445	0.294
20	0.412	2.05	8.89	0.385
30	0.456	2.8	13.335	0.476
40	0.5	3.55	17.78	0.566
50	0.544	4.3	22.225	0.657
60	0.589	5.05	26.67	0.748
70	0.633	5.8	31.115	0.839
80	0.677	6.55	35.56	0.93
90	0.721	7.3	40.005	1.02
100	0.765	8.05	44.45	1.111
N/durometer unit	0.0044	0.075	0.4445	0.00908
Spring Calibration Tolerance	± 0.0175 N	± 0.075 N	± 0.4445 N	± 0.0182 N





TYPICAL TABLE DESIGNS USED FOR POSITIONING TUBING, O-RINGS AND SMALL SPECIMENS



FIG. 3 Small Specimen Support Table

support test specimens, care must be taken to align the indenter to the center of the insert, or the point at which the indenter is to contact the specimen. Care should be exercised to assure that the indenter does not abruptly contact the specimen support table as damage to the indenter may result.

6. Test Specimen

6.1 The test specimen, herein referred to as 'specimen' or 'test specimen' interchangeably, shall be at least 6.0 mm (0.24 in) in thickness unless it is known that results equivalent to the 6.0 mm (0.24 in) values are obtained with a thinner specimen.

6.1.1 A specimen may be composed of plied pieces to obtain the necessary thickness, but determinations made on such specimens may not agree with those made on solid specimens as the surfaces of the plied specimens may not be in complete contact. The lateral dimensions of the specimen shall be sufficient to permit measurements at least 12.0 mm (0.48 in) from any edge unless it is known that identical results are obtained when measurements are made at a lesser distance from an edge.

6.1.2 The surfaces of the specimen shall be flat and parallel over an area to permit the presser foot to contact the specimen over an area having a radius of at least 6.0 mm (0.24 in) from the indenter point. The specimen shall be suitably supported to provide for positioning and stability. *A suitable hardness determination cannot be made on an uneven or rough point of contact with the indenter.*

6.2 Type M test specimens should be at least 1.25 mm (0.05 in) in thickness unless it is known that results equivalent to the 1.25 mm (0.05 in) values are obtained with a thinner specimen.

6.2.1 A Type M specimen, that is not of a configuration described in Section 6.2.2, may be composed of plied pieces to obtain the necessary thickness, but determinations made on such specimens may not agree with those made on solid specimens because the surfaces of the plied specimens may not be in complete contact. The lateral dimensions of the specimen should be sufficient to permit measurements at least 2.50 mm

(0.10 in) from any edge unless it is known that identical results are obtained when measurements are made at lesser distance from an edge. *A suitable hardness determination cannot be made on an uneven or rough point of contact with the indenter.*

6.2.2 The Type M specimen, when configured as an o-ring, circular band, or other irregular shape shall be at least 1.25 mm (0.05 in) in cross sectional diameter, unless it is known that results equivalent to the 1.25 mm (0.05 in) values are obtained with a thinner specimen. The specimen shall be suitably supported in a fixture (Fig. 3) to provide for positioning and stability.

6.3 The minimum requirement for the thickness of the specimen is dependent on the extent of penetration of the indenter into the specimen; e.g., thinner specimens may be used for materials having higher hardness values. The minimum distance from the edge at which measurements may be made likewise decreases as the hardness increases.

7. Calibration

7.1 Indentor extension adjustment procedure. Place precision ground dimensional blocks (Grade B or better) on the support table and beneath the durometer presser foot and indenter. Arrange the blocks so that the durometer presser foot contacts the larger block(s) and the indenter tip just contacts the smaller block (Fig. 4). It is necessary to observe the arrangement of the blocks and the presser foot/indenter under a minimum of 20 X magnification to assure proper alignment.

7.1.1 Indentor extension and shape must be in accordance with Section 5.1.1.3 or Section 5.1.1.4 respective to durometer type (Fig. 1a through Fig. 1d). Examination of the indenter under 20X magnification, 50X for Type M indentors, is required to examine the indenter condition. Misshapen or damaged indentors shall be replaced.

7.1.2 A combination of dimensional gage blocks shall be used to achieve a difference of 2.54 mm +0.00 -0.0254 mm (0.100 in +0.00 -0.001 in) between them. For Type M durometers the gage block dimensions are 1.27 mm +0.0 -0.0127 mm (0.050 in +0.00 -0.0005 in) between them (Fig. 4).

7.1.3 Carefully lower the durometer presser foot until it contacts the largest dimensional block(s), the indenter tip should just contact the smaller block, verifying full indentor extension.

7.1.4 Adjust the indentor extension to 2.50 ± 0.04 mm (0.098 ± 0.002 in). For Type M durometers, adjust the indentor

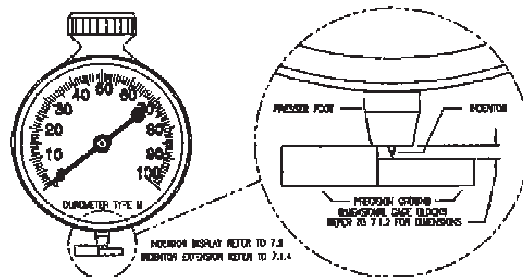


FIG. 4 Detail of Indentor Extension & Display Adjustment



8.3 The specimen shall be conditioned in accordance with condition 40/23 exclusive of humidity control, as described in D 618, Section 8.1, Procedure A and tested under the same conditions, exclusive of humidity control.

8.4 These procedures may be modified if agreed upon between laboratories or between supplier and user and are in accordance with alternative procedures identified in D 618.

8.5 No conclusive evaluation has been made on durometers at temperatures other than  $23.0 \pm 2.0$  degrees C ( $73.4 \pm 3.6$  degrees F). Conditioning at temperatures other than the above may show changes in calibration. Durometer use at temperatures other than the above should be decided locally (see Practice D 1349).

## 9. Procedure

9.1 Operating Stand Operation (Type 3 operating stand required for Type M)

9.1.1 Care shall be exercised to minimize the exposure of the instrument to environmental conditions that are adverse to the performance of the instrument, or adversely affect test results.

9.1.2 Adjust the presser foot to support table parallelism as described in Section 5.1.2.1. It is necessary to make this adjustment each time the support table is moved to accommodate specimens of varying dimensions.

9.1.3 Prior to conducting a test, adjust the vertical distance from the presser foot to the contact surface of the test specimen to  $25.4 \pm 2.5$  mm ( $0.100 \pm 0.100$  in), unless it is known that identical results are obtained with presser foot at a greater or lesser vertical distance from the test specimen contact surface, or if otherwise stipulated by the manufacturer.

9.1.4 Place the specimen on the specimen support table, in a manner that the contact point of the indenter is in accordance with Section 5, unless it is known that identical results are obtained when measurements are made with the indenter at a lesser distance from the edge of the test specimen.

9.1.5 Actuate the release lever (Fig. 2) of the operating stand or activate the electromechanical device, allowing the durometer to descend at a controlled rate and apply the presser foot to the specimen in accordance with Section 5.1.2. In the case of 'specimen to indenter' type operating stands, operate the lever or other mechanism to apply the specimen to the indenter in a manner that assures parallel contact of the specimen to the durometer presser foot without shock and with just sufficient force to overcome the calibrated spring force as shown in Table 1.

9.1.6 An operating stand that applies the mass at a controlled rate of descent, without shock is mandatory for Type M durometers. Hand held application or the use of a Type 1 or Type 2 operating stands for the Type M durometer is not an acceptable practice, refer to Section 5.1.2.4.

9.1.7 For any material covered in 1.1, once the presser foot is in contact with the specimen, e.g. the initial indenter travel has ceased, the indicated reading shall be recorded within  $1s \pm 0.1s$ , or after any period of time agreed upon among laboratories or between supplier and user. If the durometer is equipped with a maximum indicator, the maximum indicated reading shall be recorded within  $1s \pm 0.1s$  of the cessation of indenter travel. The indicated hardness reading may change with time.

9.1.8 Make five determinations of hardness at different positions on the specimen at least 6.0 mm (0.24 in) apart, 0.80 mm (0.030 in) apart for Type M; and calculate the arithmetic mean, or alternatively calculate the median. The means of calculating the determinations shall be reported according to Section 10.2.8

### 9.2 Manual (hand held) Operation of Durometer

9.2.1 Care shall be exercised to minimize the exposure of the instrument to environmental conditions that are adverse to the performance of the instrument, or adversely affect test results.

9.2.2 Place the specimen on a flat, hard, horizontal surface. Hold the durometer in a vertical position with the indenter tip at a distance from any edge of the specimen as described in Section 6, unless it is known that identical results are obtained when measurements are made with the indenter at a lesser distance.

9.2.3 Apply the presser foot to the specimen, maintaining it in a vertical position keeping the presser foot parallel to the specimen, with a firm smooth downward action that will avoid shock, rolling of the presser foot over the specimen, or the application of lateral force. Apply sufficient pressure to assure firm contact between the presser foot and the specimen.

9.2.4 For any material covered in Section 1.1, after the presser foot is in contact with the specimen, the indicated reading shall be recorded within  $1s \pm 0.1s$ , or after any period of time agreed upon among laboratories or between supplier and user. If the durometer is equipped with a maximum indicator, the maximum indicated reading shall be recorded within  $1s \pm 0.1s$  of the cessation of initial indenter travel. The indicated hardness reading may change with time.

9.2.5 Make five determinations of hardness at different positions on the specimen at least 6.0 mm (0.24 in) apart and calculate the arithmetic mean, or alternatively calculate the median. The means of calculating the determinations shall be reported according to Section 10.2.8.

9.3 It is acknowledged that durometer readings below 20 or above 90 are not considered reliable. It is suggested that readings in these ranges not be recorded.

9.4 Manual operation (hand held) of a durometer will cause variations in the results attained. Improved repeatability may be obtained by using a mass, securely affixed to the durometer and centered on the axis of the indenter. Recommended masses are 1 kg for Type A, B and O durometers, 5 kg for Type C, D and DO durometers, and 400 g for Type OO durometers. Further improvement may be achieved by the use of a durometer operating stand which controls the rate of descent of the durometer presser foot to the test specimen and incorporates the masses described above.

## 10. Report

10.1 Instrument Calibration Report (durometer or operating stand):

10.1.1 Date of calibration

10.1.2 Date of last calibration

10.1.3 Manufacturer, type, model, and serial number of the instrument, and a notation when a maximum indicator or timing device is present

10.1.4 Values obtained (pre- and post calibration results),

including a notation of the affect of a maximum indicator, if present. The method of reporting the calibrated value shall be by attaining the arithmetic mean of the determinations.

10.1.5 Ambient Temperature

10.1.6 Relative humidity

10.1.7 Technician identification

10.1.8 Applicable standards to which the instrument is calibrated

10.1.9 Calibrating instrument information to include type, serial number, manufacturer, date of last calibration and a statement of traceability of standards used to NIST or other acceptable organization. Refer to Section 1.5.

10.2 Hardness Measurement Report

10.2.1 Date of test

10.2.2 Relative humidity

10.2.3 Ambient Temperature

10.2.4 Manufacturer, type and serial number of the durometer and/or operating stand, including a notation when a maximum indicator or timing device is present, and date of last calibration

10.2.5 Means of testing, whether manual (hand held), Type 1 operating stand (specimen to indenter), Type 2 operating stand (indenter to specimen type) or Type 3 operating stand (electromechanical or hydraulically dampened)

10.2.6 Description of test specimen, including thickness, number of pieces plied if less than the thickness indicated in Section 6, including the vulcanization date

10.2.7 Complete identification of material tested

10.2.8 Hardness value obtained and method of calculation, either arithmetic mean or alternatively, the median.

10.2.9 Indentation hardness time interval at which determination was made. Readings may be reported in the form:  $M/60/t$  where  $M$  is the type of durometer, 60 the reading, and  $t$  the time in seconds that the presser foot is in contact with the specimen or from an electronic timing device.

## 11. Precision and Bias

11.1 These precision and bias statements have been prepared in accordance with Practice D 4483. Refer to this Practice for terminology and other testing and statistical concepts.

11.2 The Type 1 precision for the Type M method was determined from an interlaboratory program with 21 materials of varying hardness, with six participating laboratories. Tests were conducted on two separate days in each laboratory for the Type M testing program. All materials were supplied from a single source, being those commonly supplied as reference materials with the instruments from the manufacturer.

11.3 The precision results in this precision and bias Section give an estimate of the precision of this test method with the materials (rubbers) used in the particular interlaboratory program as described above. The precision parameters should not be used for acceptance or rejection testing, or both, of any group of materials without documentation that they are applicable to those particular materials and the specific testing protocols that include this test method.

11.4 The Type 1 precision for both Type A and D methods was determined from an interlaboratory program with 3 materials of varying hardness, with six participating laboratories. Tests were conducted on two separate days in each laboratory for both A and D testing programs. All materials were supplied from a single source.

11.5 A test result for hardness, for Types A, D, and M, was the median of five individual hardness readings on each day in each laboratory.

11.6 Table 2 shows the precision results for Type M method<sup>6</sup>, Table 3 shows the precision results for Type A method<sup>7</sup>, and Table 4 gives the precision results for Type D method<sup>7</sup>.

11.7 Precision. The precision of this test method may be expressed in the format of the following statements which use as appropriate value  $r$ ,  $R$ ,  $(r)$ , or  $(R)$ , that is, that value to be used in decisions about test results (obtained with the test method). The appropriate value is that value of  $r$  or  $R$  associated with a mean level in Table 1 closest to the mean level under consideration (at any given time, for any given material) in routine testing operations.

11.7.1 Repeatability. The repeatability,  $r$ , of these test methods has been established as the appropriate value tabulated in Tables 2-4. Two single test results, obtained under normal test method procedures, that differ by more than this tabulated  $r$  (for any given level) must be considered as derived from different or non-identical sample populations.

11.7.2 Reproducibility. The reproducibility,  $R$ , of these test methods has been established as the appropriate value tabulated in Tables 2-4. Two single test results obtained in two different laboratories, under normal test method procedures, that differ by more than the tabulated  $R$  (for any given level) must be considered to have come from different or non-identical sample populations.

11.7.3 Repeatability and reproducibility are expressed as a percentage of the mean level,  $(r)$  and  $(R)$ , have equivalent application statements as above for  $r$  and  $R$ . For the  $(r)$  and  $(R)$  statements, the difference in the two single test results is expressed as a percentage of the arithmetic mean of the two test results.

11.8 Bias. In test method terminology, bias is the difference between an average test value and the reference (or true) test property value. Reference values do not exist for this test method since the value (of the test property) is exclusively defined by this test method. Bias, therefore cannot be determined.

## 12. Keywords

12.1 Durometer; Durometer Hardness; Hardness; Indentation Hardness; Micro Durometer Hardness

<sup>6</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D11-1091.

<sup>7</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D11-1029.

**D 2240**

**TABLE 2 Type 1 Precision—Type M Durometer Method**

Material	Within Laboratories			Between Laboratories			
	MEAN	$S_r^A$	$r^B$	$(r)^C$	$SR^D$	$R^E$	$(R)^F$
1	31.8	1.28	3.58	11.24	3.76	10.83	33.41
2	40.8	1.14	3.23	7.80	2.47	7.00	17.13
3	54.0	0.875	2.76	5.11	2.38	6.73	12.46
4	62.8	0.782	2.21	3.52	2.24	6.34	10.10
5	70.9	0.709	2.01	2.83	0.874	2.76	3.89
6	80.6	1.686	4.77	5.92	1.61	4.56	5.65
7	87.7	1.15	3.25	3.71	2.63	7.45	8.50
8	92.4	0.947	2.68	8.26	3.64	10.29	31.73
9	41.8	0.797	2.28	5.40	2.23	6.31	15.11
10	53.3	0.669	1.89	3.55	2.29	6.49	12.17
11	63.2	0.485	1.37	2.17	2.19	6.20	9.80
12	69.6	0.737	2.08	3.00	0.89	2.80	4.02
13	78.3	0.784	2.22	2.84	1.04	2.94	3.75
14	87.6	1.121	3.17	3.62	2.65	7.49	8.55
15	94.1	0.85	2.40	7.05	1.84	5.20	15.25
16	42.3	0.635	1.80	4.25	1.20	3.39	8.01
17	54.6	0.56	1.59	2.90	2.15	6.09	11.15
18	62.9	1.12	3.17	5.04	1.47	4.16	6.61
19	70.3	0.689	1.95	2.77	0.944	2.87	3.80
20	81.7	0.488	1.37	1.67	1.10	3.10	3.80
21	87.9	0.879	2.49	2.83	2.07	5.86	6.67
<b>AVERAGE</b>	<b>61.4</b>						
<b>POOLED VALUES</b>		0.924	2.62	4.26	2.146	6.07	9.88

<sup>A</sup>  $S_r$  = repeatability standard deviation, measurement units.  
<sup>B</sup>  $r$  = repeatability =  $2.83 \times S_r$ , measurement units.  
<sup>C</sup>  $(r)$  = repeatability, relative, (that is, in percent).  
<sup>D</sup>  $SR$  = reproducibility standard deviation, measurement units.  
<sup>E</sup>  $R$  = reproducibility =  $2.83 \times SR$ , measurement units.  
<sup>F</sup>  $(R)$  = reproducibility, relative, (that is, in percent).

**TABLE 3 Type 1 Precision—Type A Durometer Method**

Material	Average Level	Within Laboratories		Between Laboratories			
		$S_r^A$	$r^B$	$(r)^C$	$SR^D$	$R^E$	$(R)^F$
1	51.4	0.646	1.83	3.55	1.56	4.41	8.59
2	63.3	0.878	2.48	3.61	2.21	6.06	9.27
3	68.0	0.433	1.23	1.80	2.23	6.45	9.49
<b>Pooled</b>	<b>61.6</b>	<b>0.877</b>	<b>1.92</b>	<b>3.11</b>	<b>2.018</b>	<b>6.72</b>	<b>9.28</b>

<sup>A</sup>  $S_r$  = repeatability standard deviation, measurement units.  
<sup>B</sup>  $r$  = repeatability =  $2.83 \times S_r$ , measurement units.  
<sup>C</sup>  $(r)$  = repeatability, relative, (that is, in percent).  
<sup>D</sup>  $SR$  = reproducibility standard deviation, measurement units.  
<sup>E</sup>  $R$  = reproducibility =  $2.83 \times SR$ , measurement units.  
<sup>F</sup>  $(R)$  = reproducibility, relative, (that is, in percent).

**TABLE 4 Type 1 Precision—Type D Durometer Method**

Material	Average Level	Within Laboratories		Between Laboratories			
		$S_r^A$	$r^B$	$(r)^C$	$SR^D$	$R^E$	$(R)^F$
1	42.8	0.316	0.894	2.10	2.62	7.88	18.7
2	54.6	0.791	2.24	4.11	3.54	10.0	18.4
3	62.3	1.01	2.86	3.47	3.54	10.0	12.2
<b>Pooled</b>	<b>59.8</b>	<b>0.762</b>	<b>2.16</b>	<b>3.61</b>	<b>3.32</b>	<b>9.40</b>	<b>15.7</b>

<sup>A</sup>  $S_r$  = repeatability standard deviation, measurement units.  
<sup>B</sup>  $r$  = repeatability =  $2.83 \times S_r$ , measurement units.  
<sup>C</sup>  $(r)$  = repeatability, relative, (that is, in percent).  
<sup>D</sup>  $SR$  = reproducibility standard deviation, measurement units.  
<sup>E</sup>  $R$  = reproducibility =  $2.83 \times SR$ , measurement units.  
<sup>F</sup>  $(R)$  = reproducibility, relative, (that is, in percent).

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9533 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org)



Albuquerque Industrial  
 69-10 108th Street # 2-O  
 Forest Hills, NY 11375 U.S.A.

www.abqindustrial.net  
 e-mail: info@abqindustrial.net  
 Toll Free: +1 (888) 275-5772  
 Tel: +1 (718) 846-6458  
 Fax: +1 (718) 846-6459

# **ANEXO IV**

---

---

**Rubber, vulcanized or thermoplastic —  
Determination of indentation hardness —**

**Part 1:  
Durometer method (Shore hardness)**

*Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique — Détermination de la  
dureté par pénétration —*

*Partie 1: Méthode au duromètre (dureté Shore)*



Reference number  
ISO 7619-1:2004(E)

© ISO 2004

**PDF disclaimer**

This PDF file may contain embedded typefaces. In accordance with Adobe's licensing policy, this file may be printed or viewed but shall not be edited unless the typefaces which are embedded are licensed to and installed on the computer performing the editing. In downloading this file, parties accept therein the responsibility of not infringing Adobe's licensing policy. The ISO Central Secretariat accepts no liability in this area.

Adobe is a trademark of Adobe Systems Incorporated.

Details of the software products used to create this PDF file can be found in the General Info relative to the file; the PDF-creation parameters were optimized for printing. Every care has been taken to ensure that the file is suitable for use by ISO member bodies. In the unlikely event that a problem relating to it is found, please inform the Central Secretariat at the address given below.

© ISO 2004

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either ISO at the address below or ISO's member body in the country of the requester.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Published in Switzerland



**Contents**

Page

<b>Foreword</b> .....	<b>iv</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>v</b>
<b>1 Scope</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Normative references</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Principle and choice of durometer type</b> .....	<b>1</b>
<b>4 Apparatus</b> .....	<b>2</b>
<b>5 Test piece</b> .....	<b>5</b>
<b>6 Conditioning</b> .....	<b>5</b>
<b>7 Procedure</b> .....	<b>5</b>
<b>8 Calibration and checking</b> .....	<b>6</b>
<b>9 Test report</b> .....	<b>6</b>
<b>Bibliography</b> .....	<b>8</b>

## Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

International Standards are drafted in accordance with the rules given in the ISO/IEC Directives, Part 2.

The main task of technical committees is to prepare International Standards. Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for voting. Publication as an International Standard requires approval by at least 75 % of the member bodies casting a vote.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. ISO shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

ISO 7619-1 was prepared by Technical Committee ISO/TC 45, *Rubber and rubber products*, Subcommittee SC 2, *Testing and analyses*.

This first edition of ISO 7619-1, together with ISO 7619-2, cancels and replaces ISO 7619:1997, which has been technically revised as follows in respect of the durometer method now covered exclusively by Part 1:

- a specified pressure-foot area has been introduced;
- a test time of 3 s replaces the formerly specified "within 1 s", giving a more accurate value, as the hardness value drops significantly during the first few seconds;
- a test time of 15 s has been introduced for TPE materials, as the hardness value continues to decrease over a longer period of time than for vulcanized rubber, this test time being the same as that specified for plastics in ISO 868 [1];
- the AO scale for soft materials has been added;
- the AM scale for thin samples has been added;
- the use of stands is described in more detail;
- changes of tolerances, etc. have been made to improve precision.

ISO 7619 consists of the following parts, under the general title *Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of indentation hardness*:

- *Part 1: Durometer method (Shore hardness)*
- *Part 2: IRHD pocket meter method*

## Introduction

The hardness of rubber, as measured by the durometer or the IRHD pocket meter, is a complex response to an applied indentation. The measurement will depend upon

- a) the elastic modulus of the rubber,
- b) the viscoelastic properties of the rubber,
- c) the thickness of the test piece,
- d) the geometry of the indenter,
- e) the pressure exerted,
- f) the rate of increase of pressure, and
- g) the interval at which the hardness is recorded.

Because of these factors, it is inadvisable to relate results using a durometer directly to IRHD values, although correlations have been established for some individual rubbers or compounds.

NOTE ISO 48<sup>[2]</sup> specifies hardness measurements for determination of hardness between 10 IRHD and 100 IRHD. Further information on the relation between the durometer values and IRHD values is given in the literature <sup>[5], [6], [7]</sup>.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100

# Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of indentation hardness —

## Part 1: Durometer method (Shore hardness)

### 1 Scope

This part of ISO 7619 specifies a method for determining the indentation hardness (Shore hardness) of vulcanized or thermoplastic rubber using durometers with the following scales:

- the A scale for rubbers in the normal hardness range;
- the D scale for rubbers in the high hardness range;
- the AO scale for rubbers in the low hardness range and cellular rubbers;
- the AM scale for thin rubber test pieces in the normal hardness range.

### 2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

ISO 23529, *Physical test methods — Preparation and conditioning of test pieces and preferred test conditions*<sup>1)</sup>

### 3 Principle and choice of durometer type

The measured property is the penetration of a specified indenter forced into the material under specified conditions.

When using durometers, the scale should be chosen as follows.

- For values less than 20 with Type D durometer: Type A.
- For values less than 20 with Type A durometer: Type AO.
- For values over 90 with Type A durometer: Type D.
- For thin test pieces (less than 6 mm thick): Type AM.

---

1) To be published. (Revision of ISO 471:1995)

## 4 Apparatus

### 4.1 Durometer Types A, D and AO

These durometers consist of the components specified in 4.1.1 to 4.1.5.

#### 4.1.1 Pressure foot

The pressure foot for Types A and D shall have a diameter of  $18 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$  and a central hole of diameter  $3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ . For Type AO, the pressure foot shall have a minimum area of  $500 \text{ mm}^2$  with a  $5,4 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$  central hole. The tolerances on the dimension of the centre hole and the requirement for the size of the pressure foot only apply to instruments used on a stand.

#### 4.1.2 Indentor

The indentor shall be formed from a hardened steel rod of  $1,25 \text{ mm} \pm 0,15 \text{ mm}$  diameter to the shape and dimension shown in Figure 1, for Type A durometers, and Figure 2 for Type D durometers. Type AO durometers shall have a round indentor with a radius of  $2,5 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$  according to Figure 3.

#### 4.1.3 Indicating device

This is a device for allowing the extent of protrusion of the point of the indentor beyond the face of the pressure foot to be read. It shall be calibrated directly in terms of units ranging from 0 for the maximum protrusion of  $2,50 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$  to 100 for zero protrusion obtained by placing the pressure foot and indentor in firm contact with a suitable flat hard surface.

#### 4.1.4 Calibrated spring

This shall be used to apply a force,  $F$ , expressed in millinewtons, to the indentor in accordance with one of the following equations.

— For durometer Type A:

$$F = 550 + 75 H_A$$

where  $H_A$  is the hardness reading taken from a Type A durometer.

— For durometer Type D:

$$F = 445 H_D$$

where  $H_D$  is the hardness reading taken from a Type D durometer.

— For durometer Type AO:

$$F = 550 + 75 H_{AO}$$

where  $H_{AO}$  is the hardness reading taken from a Type AO durometer.

#### 4.1.5 Automatic timing device (optional)

The timer shall be automatically activated when the pressure foot is in contact with the test piece, and shall indicate the end of the test time or lock the test value at its completion. Use of a timing device for the test time improves precision. When used in a stand, the time tolerance shall be  $\pm 0,3 \text{ s}$ .

## 4.2 Durometer Type AM

This durometer consists of the components specified in 4.2.1 to 4.2.5.

### 4.2.1 Pressure foot

The pressure foot shall have a diameter of  $9 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$  and a central hole of diameter  $1,19 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ mm}$ .

### 4.2.2 Indentor

The indentor shall be formed from a hardened steel rod of  $0,79 \text{ mm} \pm 0,025 \text{ mm}$  diameter to the shape and dimension shown in Figure 4.

### 4.2.3 Indicating device

This is a device for allowing the extent of protrusion of the point of the indentor beyond the face of the pressure foot to be read. It shall be calibrated directly in terms of units ranging from 0 for the maximum protrusion of  $1,25 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$  to 100 for zero protrusion obtained by placing the pressure foot and indentor in firm contact with a suitable flat hard surface.

### 4.2.4 Calibrated spring

To shall be used to apply a force,  $F$ , expressed in millinewtons, to the indentor in accordance with the equation:

$$F = 324 + 4,4 H_{AM}$$

where  $H_{AM}$  is the hardness reading taken from a Type AM durometer.

### 4.2.5 Automatic timing device (optional)

The timer shall be automatically activated when the pressure foot is in contact with the test piece, and shall indicate the end of the test time or lock the test value at its completion. Use of a timing device for the test time improves precision. When used in a stand, the time tolerance shall be  $\pm 0,3 \text{ s}$ .

## 4.3 Stand

Better precision is obtained by using a stand with a weight centred on the axis of the indentor to apply the pressure foot to the test piece. Durometer Types A, D and AO may be used either as pocket meters by hand, or mounted on a stand. Durometer Type AM shall always be mounted on a stand.

### 4.3.1 General

The operating stand shall be capable of supporting the durometer pressure-foot surface parallel to the test piece support table.

### 4.3.2 Operating speed

The stand shall be capable of applying the test piece to the indentor, or vice versa, without shock, at a maximum speed of  $3,2 \text{ mm/s}$ .

**4.3.3 Masses**

The total mass of the durometer and extra mass to overcome the spring force shall be

$1 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,1 \end{smallmatrix}$  kg for Types A and AO

$5 \begin{smallmatrix} 0 \\ +0,5 \end{smallmatrix}$  kg for Type D

$0,25 \begin{smallmatrix} 0 \\ +0,05 \end{smallmatrix}$  kg for Type AM

**4.4 Durometer spring force calibration**

The force values shall be in accordance with Table 1.

**Table 1 — Durometer spring forces**

Indicated durometer value	Spring forces mN		
	Type AM	Type A and AO	Type D
0	324	550	—
10	368	1 300	4 450
20	412	2 050	8 900
30	456	2 800	13 350
40	500	3 550	17 800
50	544	4 300	22 250
60	588	5 050	26 700
70	632	5 800	31 150
80	676	6 550	35 600
90	720	7 300	40 050
100	764	8 050	44 500
Millinewtons (mN) per unit	4,4	75	445
Spring calibration tolerance	± 8,8	± 37,5	± 222,5



## 5 Test piece

### 5.1 Thickness

For the determination of hardness using Shore A, D and AO durometers, the thickness of the test piece shall be at least 6 mm.

For the determination of hardness using Shore AM durometers, the thickness of the test piece shall be at least 1,5 mm.

For sheets thinner than 6 mm and 1,5 mm, a test piece may be composed of not more than three layers, in order to obtain the necessary thickness. However, determinations made on such test pieces may not agree with those made on single-thickness pieces.

For comparison purposes, the test pieces shall be similar.

NOTE The measurement on thin test samples of soft rubber will be influenced by the support table and will show a too high value.

### 5.2 Surface

The other dimensions of the test piece shall be sufficient to permit measurements at least 12 mm away from any edge for Types A and D, and 15 mm and 4,5 mm away from any edge for Type AO and Type AM, respectively.

The surface of the test piece shall be flat and parallel over an area sufficient to permit the pressure foot to come into contact with the test piece over an area having a radius of at least 6 mm from the indenter point for Types A and D, 9 mm for Type AO and 2,5 mm for Type AM.

Satisfactory hardness determinations cannot be made on rounded, uneven or rough surfaces using durometers. However, their use in certain specialized applications is recognized, e.g. ISO 7267-2 <sup>[3]</sup> for determination of hardness of rubber-covered rolls. In such applications, the limitations of their use shall be clearly identified.

## 6 Conditioning

Where practical, test pieces shall be conditioned immediately before testing for a minimum period of 1 h at the standard laboratory temperature in accordance with ISO 23529. The same temperature shall be used throughout any single test or series of tests intended to be comparable.

## 7 Procedure

### 7.1 General

Place the test piece on a flat, hard, rigid surface. Apply the pressure foot to the test piece or vice versa, as rapidly as possible, without shock, keeping the foot parallel to the surface of the test piece and ensuring that the indenter is normal to the rubber surface. When using a stand, the maximum speed shall be 3,2 mm/s.

### 7.2 Test time

Apply a force in accordance with 4.3.3 sufficient only to obtain firm contact between the pressure foot and the test piece and take the reading at the specified time after the pressure foot is in firm contact with the test piece. The standard test time shall be 3 s for vulcanized rubber and 15 s for thermoplastic rubber.

Other test times may be used, provided they are stated in the test report. Rubbers of unknown type should be treated as vulcanized.

### 7.3 Number of measurements

Make five measurements of hardness at different positions on the test piece at least 6 mm apart for Types A, D and AO and 0,8 mm apart for Type AM, and determine the median value.

## 8 Calibration and checking

### 8.1 Calibration

The instrument shall be adjusted and calibrated regularly using suitable instruments for measuring force and dimensions.

NOTE An International Standard for calibration of hardness meters and durometers, ISO 18898, is under preparation [4].

### 8.2 Checking using standard rubber blocks

Press the instrument against a flat piece of glass and adjust the reading on the scale to give 100 IRHD. Using a set of standard rubber blocks<sup>2)</sup> covering the range approx. 30 IRHD to 90 IRHD, calibrate the instrument. All adjustments shall be made according to the manufacturer's instructions. The set of standard rubber blocks shall consist of a least six test pieces kept lightly dusted with talc in a suitable covered container away from light, heat, oil and grease. The standard rubbers shall themselves be calibrated against the dead-load gauge by the method specified in ISO 48 at intervals not exceeding 6 months. Instruments in regular use should be checked at least each week against standard rubber blocks.

## 9 Test report

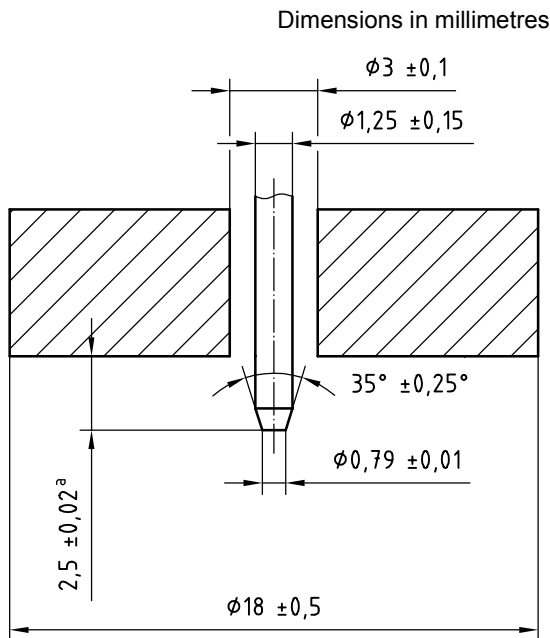
The test report shall include the following information:

- a) reference to this international Standard;
- b) sample details
  - full description of the sample and its origin,
  - compound details and curing conditions, if known,
  - description of the test piece, including its thickness and, in the case of a composite test piece, the number of layers;
- c) test details
  - temperature of test, and the relative humidity when the hardness of the material is dependent on the humidity,
  - type of instrument used,
  - time elapsed between the preparation of the test piece and the measurement of hardness,
  - any deviation from the standard procedure,
  - details of procedure not specified in this part of ISO 7619, and any incidents likely to have had an influence on the results;

---

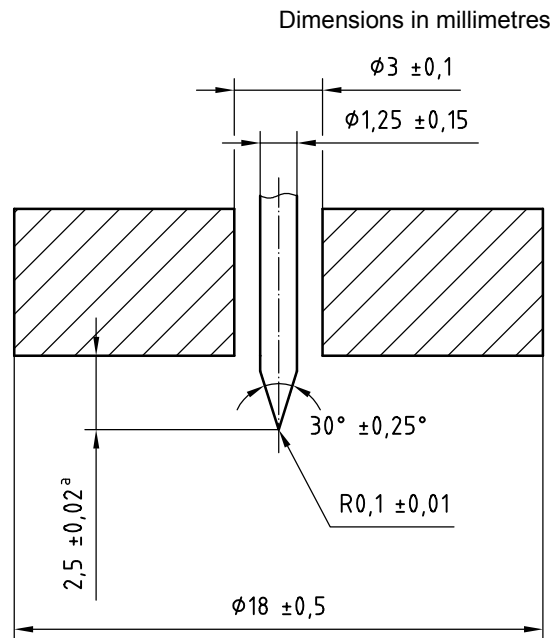
2) Standard rubber blocks are available from different manufacturers of hardness testers.

- d) test results — individual values of the indentation hardness and the time interval after which each reading was taken, if different from 3 s, plus the median value and the maximum and minimum values, in relevant scales;
- e) date of test.



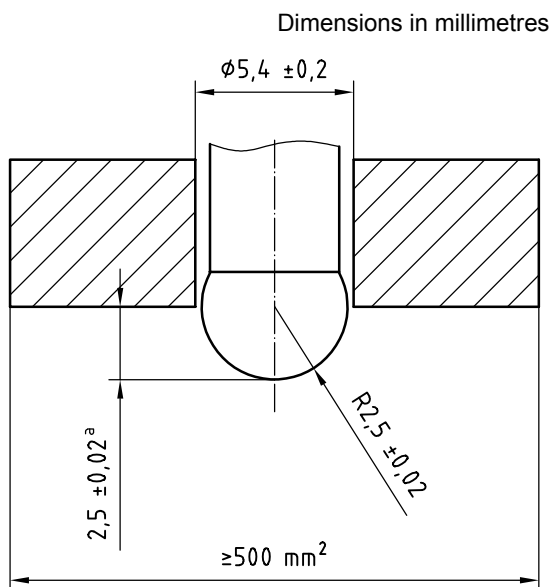
a The protusion shown is valid for a reading of 0.

**Figure 1 — Indenter for Type A durometer**



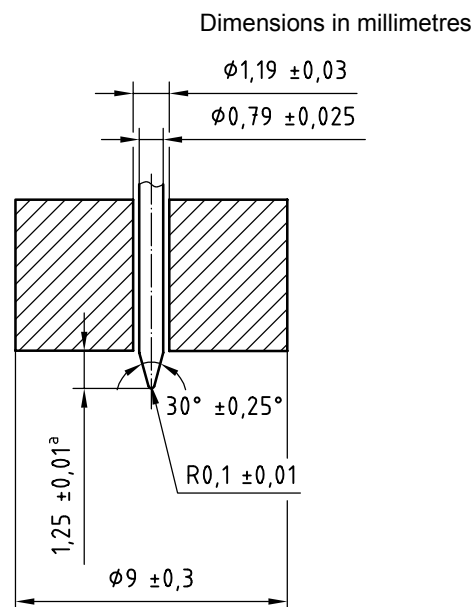
a The protusion shown is valid for a reading of 0.

**Figure 2 — Indenter for Type D durometer**



a The protusion shown is valid for a reading of 0.

**Figure 3 — Indenter for Type AO durometer**



a The protusion shown is valid for a reading of 0.

**Figure 4 — Indenter for Type AM durometer**

## Bibliography

- [1] ISO 868, *Plastics and ebonite — Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness)*
- [2] ISO 48, *Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of hardness (hardness between 10 IRHD and 100 IRHD)*
- [3] ISO 7267-2, *Rubber-covered rollers — Determination of apparent hardness — Part 2: Shore-Type durometer method*
- [4] ISO 18898, *Rubber — Calibration and verification of hardness testers<sup>3)</sup>*
- [5] BROWN, R.P, *Physical testing of rubber*, Chapman and Hall, London, 1996
- [6] OBERTO S, *Rubber Chemistry Technology*, 1955, 28, 1054
- [7] JUVE A.E, *Rubber Chemistry Technology*, 1957, 30, 367

---

3) Under preparation.



---

---

**ICS 83.060**

Price based on 8 pages

# **ANEXO V**





## INFORME TÉCNICO

LAEV – MAY.06.15

Quito, 28 de mayo de 2015

TRABAJO SOLICITADO POR: **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
Ing. Henry Vaca

### ORDEN DE TRABAJO N° 0002796

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas extraídas de muestras de polímeros pertenecientes al Sr. Edwin Adolfo Lascano Constante, para el proyecto de titulación "ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE DIFERENTES POLÍMEROS Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DEL MONTAJE DE PROBETAS METALOGRAFICAS EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA". Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

### RESULTADOS

1. **MUESTRAS:** Veinte (20) probetas extraídas de diferentes polímeros para ensayo de compresión.

#### 2. ENSAYO DE COMPRESIÓN

En la tabla 1 se presentan los resultados de los ensayos de compresión realizados a las probetas extraídas de BAKELITA. La velocidad de desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos fue de 15 mm/min.





Tabla 1. Resistencia a la compresión de las probetas extraídas de BAKELITA.

Id.	Díámetro promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción	
	mm	lbf	N	ksi	MPa
BAKELITA 1	30,28	23.255	103.443	20,8	143,6
BAKELITA 2	30,25	31.615	140.630	28,4	195,7
BAKELITA 3	30,26	35.300	157.022	31,7	218,3
BAKELITA 4	30,31	24.397	108.523	21,8	150,4
BAKELITA 5	30,13	12.776	56.830	11,6	79,7
BAKELITA 6	30,23	33.263	147.961	29,9	206,1
BAKELITA 7	31,06	16.543	73.587	14,1	97,1
BAKELITA 8	31,54	20.325	90.410	16,8	115,7
BAKELITA 9	29,76	27.875	123.994	25,9	178,3

En la tabla 2 se presentan los resultados de los ensayos de compresión realizados a las probetas extraídas de LUCITA. La velocidad de desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos fue de 15 mm/min.

Tabla 2. Resistencia a la compresión de las probetas extraídas de LUCITA.

Id.	Díámetro promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción	
	mm	lbf	N	ksi	MPa
LUCITA 01	31,41	22.125	98.417	18,4	127,0
LUCITA 02	31,47	20.742	92.265	17,2	118,6
LUCITA 03	31,51	19.768	87.932	16,4	112,8
LUCITA 04	31,51	13.924	61.937	11,5	79,4
LUCITA 05	31,48	6.985	31.071	5,8	39,9
LUCITA 06	31,46	13.246	58.921	11,0	75,8
LUCITA 09	31,51	17.932	79.765	14,8	102,3

En la tabla 3 se presentan los resultados de los ensayos de compresión realizados a las probetas extraídas de POLIESTIRENO CRISTAL. La velocidad de desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos fue de 15 mm/min.





Tabla 3. Resistencia a la compresión de las probetas extraídas de POLIESTIRENO CRISTAL.

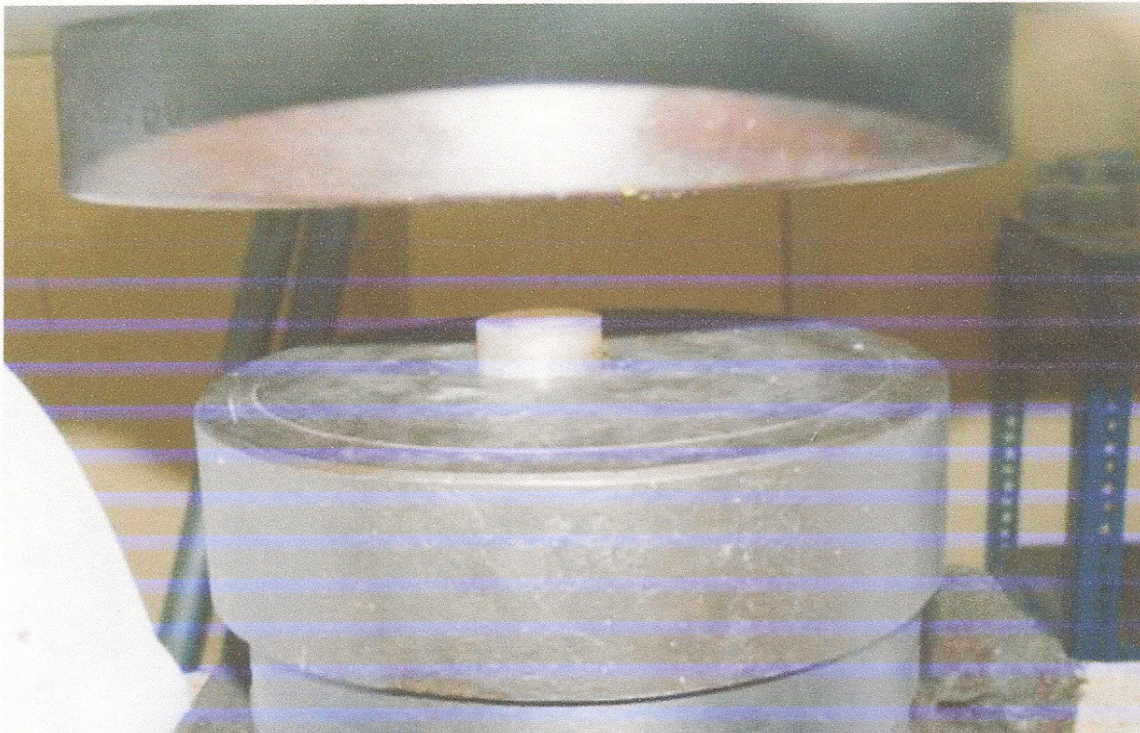
Id.	Diámetro promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción	
	mm	lbf	N	ksi	MPa
POLIESTIRENO CRISTAL 06	29,7	17.251	76.736	16,1	110,8
POLIESTIRENO CRISTAL 07	30,22	7.630	33.940	6,9	47,3
POLIESTIRENO CRISTAL 08	30,06	18.486	82.230	16,8	115,9
POLIESTIRENO CRISTAL 10	31,48	11.381	50.625	9,4	65

Las fotografías tomadas durante la realización de los ensayos se muestran en el anexo.

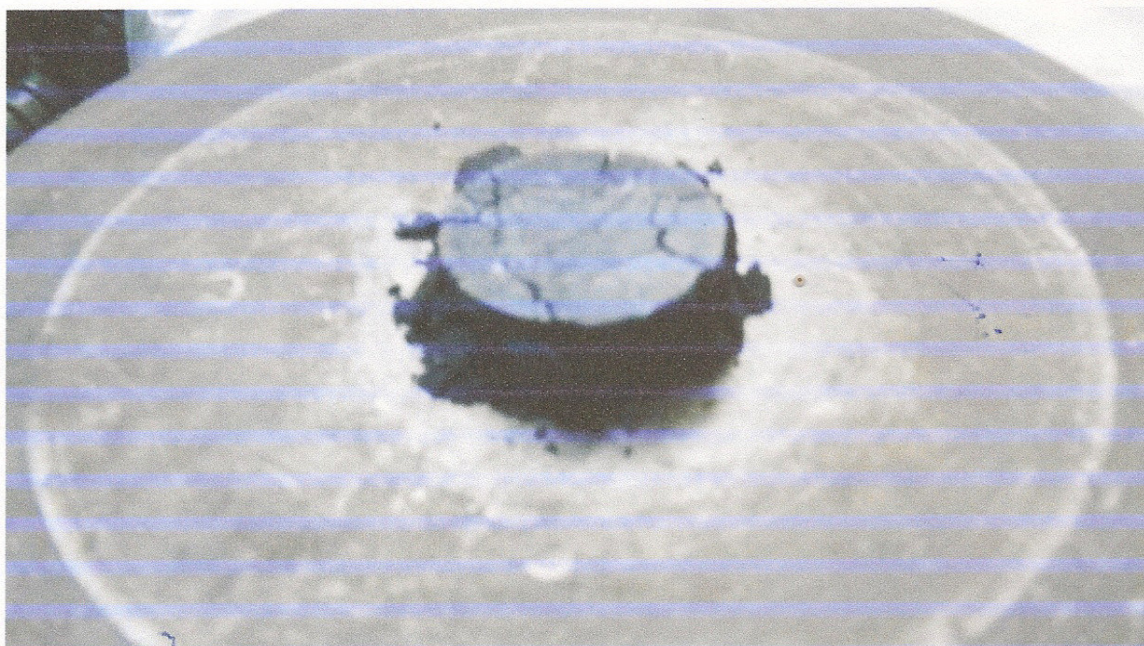




ANEXO



Fotografía 1. Montaje de la muestra en la máquina universal de ensayos.



Fotografía 2. Muestra después de realizado el ensayo de compresión.



LAEV-EPN  
Orden N° 0002796







# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES

*Análisis, procesamiento y evaluación de materiales*



## INFORME TÉCNICO

LANUM-MAY.20

Quito, 20 de mayo de 2015

**TRABAJO SOLICITADO POR:** Sr. Edwin Lascano  
Universidad Técnica de Ambato

### ORDEN DE TRABAJO N° 000002796

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a la determinación de dureza en escala Shore D en 20 muestras de materiales poliméricos. Las muestras identificadas como lucita, baquelita y poliestireno cristal fueron entregadas en el Laboratorio de Nuevos Materiales de la Escuela Politécnica Nacional por el Sr. Edwin Lascano.

### MUESTRAS:

- 7 muestras de material lucita.
- 9 muestras de material baquelita.
- 4 muestras de material poliestireno cristal.

### EQUIPOS:

Para la medición de dureza se empleó un durómetro Shore D digital de la marca Pantec; se registraron además el espesor y diámetro de cada muestra mediante un calibrador de vernier marca Mitutoyo modelo Absolute Digimatic (12"/300 mm) con una apreciación de 0,01 mm.

HL



Orden N° 0002796



## RESULTADOS:

Se realizaron 5 mediciones a cada una de las muestras para luego obtener el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. En la tabla 1 se muestran los resultados de la medición de dureza Shore D.

Tabla 1. Dureza Shore D.

Muestra I.D.	Diámetro [mm]	Espesor [mm]	Dureza Shore D	Desviación estándar $S_{n-1}$	Coficiente de variación CV
LUCITA 1	31,66	10,37	84,1	0,68	0,80
LUCITA 2	31,59	11,10	83,0	0,39	0,47
LUCITA 3	31,60	12,48	84,4	0,90	1,07
LUCITA 4	31,64	16,24	84,4	0,46	0,55
LUCITA 5	31,63	17,27	83,9	0,13	0,16
LUCITA 6	31,67	17,07	83,6	0,19	0,23
LUCITA 9	31,63	16,17	84,0	0,23	0,27
BAQUELITA 1	30,31	13,65	82,7	1,65	2,00
BAQUELITA 2	30,34	12,36	89,3	2,21	2,48
BAQUELITA 3	30,42	12,16	87,0	1,52	1,75
BAQUELITA 4	30,36	12	86,9	0,83	0,95
BAQUELITA 5	30,23	14,12	86,6	0,66	0,77
BAQUELITA 6	30,39	12,43	89,8	1,08	1,20
BAQUELITA 7	31,82	11,58	88,7	0,79	0,89
BAQUELITA 8	31,74	12,68	88,1	1,41	1,60
BAQUELITA 9	29,86	12,44	88,9	3,10	3,49
POLIESTIRENO CRISTAL 6	29,95	8,59	86,1	0,32	0,37
POLIESTIRENO CRISTAL 7	31,64	11,32	85,0	0,27	0,32
POLIESTIRENO CRISTAL 8	31,63	12,06	85,0	0,27	0,32
POLIESTIRENO CRISTAL 10	31,63	12,65	85,2	0,25	0,29

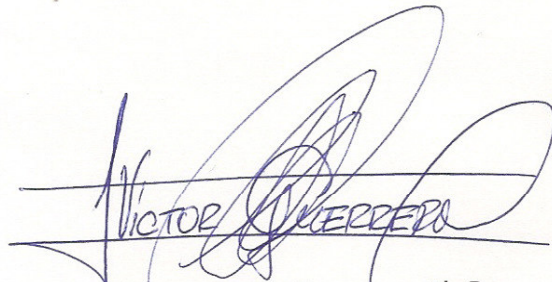
En la figura 1 se muestra el proceso de medición de dureza Shore D en las muestras entregadas al laboratorio.







Figura 1. Medición de dureza Shore D en probeta de material polimérico.

  
Víctor Hugo Guerrero, Ph.D.

**JEFE DEL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES**

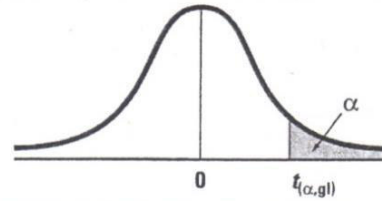


# **ANEXO VI**



**Tabla E.3** Valores críticos de *t*

Para un número dado de grados de libertad, el elemento representa el valor crítico de *t* que corresponde a un área de la cola superior especificada ( $\alpha$ )



Grados de libertad	Áreas de la cola superior					
	.25	.10	.05	.025	.01	.005
1	1.0000	3.0777	6.3138	12.7062	31.8207	63.6574
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9646	9.9248
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8409
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7764	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0322
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9980	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5177	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7969
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3006	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800
50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778

continúa



# **ANEXO VII**

## COTIZACIÓN

### EDWIN LASCANO

Presente.-

Según lo solicitado, remito cotización de los productos de su interés:

Ítem No.	Descripción del Bien	Unidad	Cantidad/kg	Plazos de Entrega	Moneda: Dólares	
					Precio Unitario	Precio Total
1	Poliestireno alto impacto Styron 478 MI 6	kg	25	1 ENTREGA	1,95	48,75
2	Poliestireno alto impacto Styron 484 MI 2,8	kg	25	1 ENTREGA	1,95	48,75
3	Poliestireno cristal Styron 678D MI 10	kg	25	1 ENTREGA	1,70	42,50
4	Poliestireno cristal Styron 649D MI 18	kg	25	1 ENTREGA	1,70	42,50

Precio ofertado no incluye el IVA

Le recordamos que tenemos disponibles las siguientes cuentas para pago:

DISAN RUC: 1791338693001

Número de Cuenta	Tipo	Banco
3041195604	Corriente	Pichincha
2006070899	Corriente	Produbanco
1500605943	Corriente	Internacional

Esperamos su confirmación para proceder.

### Daniela Medina H.

Ingeniera de ventas  
Móvil (+593) 993681164  
Teléfono: (+593-2) 6046596 Ext. 108  
Calle de los Ciruelos OE 1-300 entre Av. Real  
Audiencia y Av. Galo Plaza