

## UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

---

**“REDISEÑO DE UN PLASTICIMETRO DE K. PFEFFERKORN “**

TESIS:

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO EN DISEÑO**

PRESENTA:

**EDER MICHEL GOMEZ GARCIA**

DIRECTORES DE TESIS:

**M.C MARLA BERENICE H. HERNANDEZ**

**M.C. VICTOR M. CRUZ MARTINEZ**

## DEDICATORIA

---

*Para todas las cosas hay sazón, y todo lo que se quiere debajo del cielo, tiene su tiempo...*

Al piloto de mis sueños y triunfos, a la brillante estrella  
de mi firmamento, mi hermano  
Juan Carlos...

A **mis padres Juan y Sobeida**, GRACIAS por su amor, comprensión y por darme su apoyo. A los que sin duda son los ases de mi corazón y la alegría de mi vida. GRACIAS por permitirme cimentar una carrera.

A **mis abuelos Carlos y Elizabeth, Antonia y Filemón**, que a pesar de los años he visto que el esfuerzo y la dedicación son parte del éxito, y sin duda el sitio tranquilo en que me refugio. Gracias por su cariño, apoyo y amor...

A **mis hermanas Elldy y Stale**, por su cariño incondicional y a los dos tesoros que les ha regalado la vida: Nahomi y Vania.

A **mí Familia**, por su amor y apoyo absoluto.

A **Itandehui** que siempre esta cuando le necesitas, en las cosas importantes y en las minucias. Cada hora, cada minuto, cada segundo de cada día, siempre te querré...

A **mis Directores de tesis**, Marla Berenice Hernández Hernández y Víctor Manuel Cruz Martínez, Gracias por su dedicación, amistad y apoyo.

A **mis amigos**, Por su amistad; Juan, Rubén, Toledo, Jahaziel, Josué David, Alejandro, Eros, Irina, Luís, Nidia, Teodoro, Gregorio, Jorge, Fernando B., Fernando, Marisol, Soledad y Hortensia.

<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>VII</b>
--------------------------	------------

**Capítulo I: ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA**

1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo principal.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Justificación.....	4
1.5 Descripción de la metodología.....	5
1.5.1 Metodología de investigación de Bruno munari.....	5
1.5.2 Metodología de diseño QFD .....	6
1.6 Delimitaciones.....	8

**Capítulo II: ANTECEDENTES TEÓRICOS**

2.1 Las arcillas.....	10
2.2 Métodos de conformado .....	12
2.3 Estructura.....	13
2.4 La plasticidad.....	14
2.5 Determinación de la plasticidad.....	14
2.6 Métodos indirectos.....	20
2.6.1 Método de Atterberg.....	20
2.7 Métodos directos.....	21
2.7.1 Métodos subjetivos.....	21
2.7.2 Métodos de extrusión.....	21
2.7.3 Métodos de comprensibilidad.....	22
2.8 Elección del método de determinación de la plasticidad.....	22
2.9 Método de Pferfferkorn .....	23
3.0 Material y método de operación.....	24

**Capítulo III: PROCESO DE DISEÑO**

3.1 Desarrollo de la metodología QFD .....	26
3.2 Investigación de productos existentes en el mercado.....	26

3.3	Análisis de productos existentes en el mercado.....	28
3.3.1	Establecimiento de la calidad de diseño y la calidad planificada .....	32
3.3.2	Acumulación y análisis de información sobre la función.....	33
3.3.3	Comunicación a procesos posteriores de información relacionada con la función .....	34
3.3.4	Etapas y aplicación de la técnica de análisis de valor por cada componente producto.....	34
3.3.5	Proceso en la modificación de los elementos.....	40
3.3.6	Clasificación de los requerimientos por su cumplimiento .....	42
3.3.6.1	Análisis de los requerimientos.....	43
3.3	Desarrollo de nuevos productos que proporcionarían un rediseño .....	45
3.4.1	Propuestas de diseño .....	57
3.5	Análisis y selección de las propuestas .....	60
3.5.1	Análisis de los requerimientos en la propuesta seleccionada .....	61
3.5.2	Análisis de los materiales en la propuesta.....	61
3.5.2.1	Comparación de materiales para determinar las Propiedades del diseño.....	62
3.5.2.2	Plástico vs. Metal .....	62

#### **Capítulo IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

4.1	Prototipo.....	64
4.2	Desarrollo de la alternativa seleccionada .....	65
4.3	Planos técnicos.....	66
4.4	Prototipo en 3D (Animación) .....	68

#### **Capítulo V: PRESENTACIÓN DEL MODELO FUNCIONAL**

5.1	Proceso de elaboración del prototipo .....	78
5.1.1	Proceso de elaboración del martillo.....	78
5.1.2	Proceso de elaboración de la base estructural.....	80
5.1.3	Proceso de elaboración de la tapa para la base estructural .....	82
5.1.4	Proceso de elaboración de la base para la escala.....	83
5.1.5	Proceso de elaboración de la base para colocar las muestras .....	84
5.1.6	Proceso de elaboración del molde para las muestras .....	85



5.1.7 Proceso de elaboración de las bases rectangulares.....	86
5.2 Imágenes del prototipo final.....	87

## **Capítulo VI: PRESENTACIÓN DEL DESARROLLO EXPERIMENTAL**

6.1 Desarrollo experimental de las muestras.....	90
6.2 Desarrollo de las primeras muestras .....	91
6.2.1 Muestras de San Bartolo, Oaxaca.....	91
6.2.1.1 Análisis de las muestras de San Bartolo, Oaxaca...	96
6.2.2 Muestras de San Jerónimo, Oaxaca.....	97
6.2.2.1 Análisis de las muestras de San Jerónimo, Oaxaca	97
6.2.3 Muestras con arcilla industrial.....	98
6.2.3.1 Análisis de las muestras con arcilla Industrial .....	100
6.3 Desarrollo de las segundas muestras.....	101
6.3.1 Muestras de San Bartolo, Oaxaca.....	101
6.3.1.1 Muestras de San Bartolo, Oaxaca .....	101
6.3.2 Muestras de San Jerónimo, Oaxaca.....	102
6.3.2.1 Análisis de las muestras de San Jerónimo, Oaxaca	103
6.3.3 Muestras con arcilla industrial.....	103
6.3.3.1 Análisis de las muestras de arcilla industrial.....	104
<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>106</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>114</b>
<b>GLOSARIO GENERAL.....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>120</b>

Figura 1. Proceso metodológico de investigación y diseño.....	6
Figura 2. Etapas de la QFD para la elaboración de un producto.....	8
Figura 3. <i>Izq.</i> Tubería de drenaje (Comalcalco, Tabasco) <i>Der.</i> Vasija de servicio (Monte Albán, Oaxaca) .....	9
Figura 4. Estructura laminar de la arcilla .....	14
Figura 5. Esquema representativo de la plasticidad.....	16
Figura 6. Esquema representativo de la elasticidad.....	16
Figura 7. Plasticímetro de Pfefferkorn.....	24
Figura 8. Esquema del plasticímetro de Pfefferkorn.....	25
Figura 9. Plasticímetro de Pfefferkorn y sus componentes.....	33
Figura 10. Primera propuesta del prototipo .....	45
Figura 11. Partes con la que cuenta la propuesta 1 .....	46
Figura 12. Función con la que cuenta la propuesta 1 .....	46
Figura 13. Segunda propuesta del prototipo .....	47
Figura 14. Partes con la que cuenta la propuesta 2 .....	48
Figura 15. Función con la que cuenta la propuesta 2 .....	48
Figura 16. Tercera propuesta del prototipo .....	49
Figura 17. Partes con la que cuenta la propuesta 3 .....	50
Figura 18. Función con la que cuenta la propuesta 3 .....	50
Figura 19. Cuarta propuesta del prototipo .....	51
Figura 20. Partes con la que cuenta la propuesta 4 .....	52
Figura 21. Función con la que cuenta la propuesta 4 .....	52
Figura 22. Quinta propuesta del prototipo .....	53
Figura 23. Partes con la que cuenta la propuesta 5 .....	54
Figura 24. Función con la que cuenta la propuesta 5 .....	54
Figura 25. Sexta propuesta del prototipo .....	55
Figura 26. Partes con la que cuenta la propuesta 6 .....	56
Figura 27. Función con la que cuenta la propuesta 6 .....	56
Figura 28. Propuesta seleccionada con molde .....	64
Figura 29. Relación de los componentes del producto.....	66
Figura 30. Isométrico del producto.....	68
Figura 31. Partes con las que cuenta el prototipo seleccionado .....	69
Figura 32. Preparación de la muestra .....	70
Figura 33. Colocación de la muestra dentro del molde .....	71
Figura 34. Presionando la muestra dentro del molde .....	71
Figura 35. Retirando la muestra del molde.....	72

Figura 36. Colocación de la muestra dentro del prototipo .....	72
Figura 37. Muestra colocada dentro del prototipo.....	73
Figura 38. Se activa el botón para dejar caer la barra porta martillo.....	73
Figura 39. Aplastamiento de la muestra .....	74
Figura 40. Lectura de la escala .....	74
Figura 41. Levantamiento del martillo.....	75
Figura 42. Contracción de la muestra con respecto a su altura inicial.....	75
Figura 43. Es cerrada la puerta del instrumento.....	76
Figura 44. Modelo funcional del prototipo.....	77
Figura 45. Diagrama de flujo – elaboración del martillo.....	79
Figura 46. Diagrama de flujo – elaboración de la base estructural.....	81
Figura 47. Diagrama de flujo – elaboración de la tapa para la base estructural....	82
Figura 48. Diagrama de flujo – elaboración de la base para la escala.....	83
Figura 49. Diagrama de flujo – elaboración de la base para colocar las muestras	84
Figura 50. Diagrama de flujo – elaboración del molde para las muestras.....	85
Figura 51. Diagrama de flujo – elaboración de las bases rectangulares.....	86
Figura 52. Modelo funcional.....	87
Figura 53. Sujeción de la manija para abrir la base .....	88
Figura 54. Abatimiento de la base hacia la izquierda .....	88
Figura 55. Molde para las muestras .....	89
Figura 56. Modelo funcional completo .....	89
Figura 57. Plasticímetro donde se realizaron las pruebas experimentales.....	90
Figura 58. Peso de la primera muestra de San Bartolo, Oaxaca.....	91
Figura 59. La primera muestra es colocada dentro del molde.....	91
Figura 60. La primera muestra es retirada del molde .....	92
Figura 61. Las tres muestras de San Bartolo, Oaxaca .....	93
Figura 62. Primera muestra de San Bartolo llego a pesar 60g .....	93
Figura 63. Tercera muestra de San Bartolo llego a pesar 58g.....	94
Figura 64. La muestra es colocada dentro del instrumento.....	94
Figura 65. Lectura de la escala de la primera muestra de San Bartolo.....	95
Figura 66. La muestra es retirada del instrumento .....	95
Figura 67. Deformación de las tres muestras de la arcilla de San Bartolo.....	96
Figura 68. Primeras muestras con arcilla industrial .....	98
Figura 69. La primera muestra industrial es colocada en el instrumento.....	99
Figura 70. Aplastamiento de la muestra.....	99
Figura 71. Presentación de las tres muestras de arcilla industrial.....	100
Figura 72. Funciones finales del artefacto .....	108
Figura 73. Artefacto final.....	110

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Métodos que determinan la plasticidad.....	19
Tabla 2. Plasticímetro original de K. Pfefferkorn.....	26
Tabla 3. Plasticímetro de Pfefferkorn, elaborado por Gabbrielli.....	27
Tabla 4. Análisis del producto original por K. Pfefferkorn.....	28
Tabla 5. Análisis del producto elaborado por Gabbrielli.....	30
Tabla 6. Análisis de valor por cada componente del producto.....	35
Tabla 7. Asignación de valores en función de cada componente del producto .....	35
Tabla. 7.1 Valor en función y costo del producto.....	37
Tabla. 7.2 Valor en función y costo del producto.....	38
Tabla. 7.3 Valor en función y costo del producto.....	39
Tabla 8. Valor que tiene cada función del componente.....	40
Tabla 9. Análisis de los requerimientos de uso, función y estructurales del plasticímetro de Pfefferkorn elaborado por Gabbrielli.....	44
Tabla 10. Comparación para análisis y selección.....	57
Tabla 11. Valoración en función a sus tributos.....	57
Tabla 12. Tabla de resultado de cada propuesta .....	59
Tabla 13 Análisis de los requerimientos de uso, función y estructurales del rediseño del plasticímetro de Pfefferkorn.....	60
Tabla 14. Características del plástico y metal.....	62
Tabla 15. Componentes del Producto.....	65
Tabla 16. Planos técnicos de acuerdo al ensamblado del prototipo.....	67
Tabla 17. Resultados de la primera muestra de arcilla de San Bartolo.....	96
Tabla 18. Resultados de Primera muestra de arcilla de San Jerónimo.....	98
Tabla 19. Resultados de Primera muestra de arcilla Industrial .....	101
Tabla 20. Resultados de Segunda muestra de arcilla de San Bartolo.....	102
Tabla 21. Resultados de Segunda muestra de arcilla de San Jerónimo...	103
Tabla 22. Resultados de Segunda muestra de arcilla Industrial .....	104
Tabla 23. Componentes del Producto.....	109
Tabla 24. Segunda muestra de arcilla de San Bartolo.....	111
Tabla 25. Primera muestra de arcilla de San Jerónimo.....	111
Tabla 26. Segunda muestra de arcilla Industrial .....	112

## PRESENTACIÓN

---

El presente proyecto surge de la necesidad de brindar un apropiado conformado de piezas cerámicas, evitando que se generen grietas después del secado posterior. En el Taller de cerámica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca se preparan pastas con arcillas como primer paso en el proceso de fabricación de cerámicos. Sin embargo, no se cuenta con un instrumento que proporcione un valor cuantitativo de la plasticidad de las pastas, el cual debe determinar si la pasta preparada tiene el contenido de agua y componentes arcillosos necesarios.

La problemática, se resolvió a través del rediseño del plasticímetro de K. Pfefferkorn, con dicho rediseño se logra medir el grado de plasticidad de las arcillas, esto radica en obtener un valor numérico que permita determinar si la pasta es apta para moldearse, y garantice que es factible mantener su forma sin que se rompa o agriete antes de llegar a la etapa de secado.

La metodología de investigación de Bruno Munari, se tomo como apoyo constando ésta de varias etapas, dentro de las cuales se encuentra la etapa de creatividad; donde se aplicó una metodología de diseño QFD y una técnica de análisis de valor. Los objetivos primordiales de la aplicación de esta metodología son, incrementar la importancia del rediseño de un producto, así como la reducción del costo en la fabricación, los cuales son de suma importancia para el desarrollo del rediseño incorporado al taller de cerámica.

Fue necesaria una investigación, y análisis de los productos que existen en el mercado. En estos se retomaron elementos de análisis, que permitieron que se pudiera desarrollar con otros materiales y nuevas formas.

El producto final fue desarrollado y maquinado en el Taller de Metalmecánica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, el cual cuenta con todos los elementos y requerimientos para llevar a cabo el proyecto. Este proyecto se vio completado al experimentar en tres tipos de arcillas, arrojando resultados para obtener una buena pasta para moldeado de piezas.

## DESCRIPCIÓN

Rediseño de un plasticímetro de K. Pfefferkorn, para ser aplicado en el taller de cerámica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, cuyos objetivos son: contribuir en la mejora del producto y asegurar un apropiado conformado de piezas cerámicas.

Este instrumento debe proporcionar un valor cuantitativo de forma mecánica, a través de una escala en milímetros donde se lea la deformación de la probeta.

El plasticímetro cuenta con funciones establecidas por K. Pfefferkorn, y otras propuestas por el diseñador para un mejor uso, con base a las necesidades del usuario y talleres de cerámica.

## I. ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA

---

### 1.1 Introducción

Desde el comienzo de la civilización, los materiales cerámicos, junto con otros materiales, han sido utilizados por el hombre para mejorar su nivel de vida. La producción de materiales cerámicos y el procesado de éstos hasta convertirlos en productos acabados, constituye actualmente una parte muy importante de la economía. Incluso una clase de dichos materiales se usan cotidianamente en diversas industrias.

En sus orígenes, estos materiales se fabricaban a partir de arcilla mezclada con agua. Posteriormente se sometían a un secado y después a un tratamiento térmico, a cierta temperatura y a un determinado tiempo, para que adquirieran las propiedades necesarias para su uso; teniendo en cuenta que una de las propiedades de esta arcilla es la plasticidad.

La plasticidad es una propiedad que exhiben los sistemas fluidos y se evidencia por una deformación permanente sobre el sistema en consideración, producida por un esfuerzo. La magnitud de esta deformación es proporcional al esfuerzo causal, permanece invariante al retirarse éste y es función de esta propiedad característica denominada plasticidad.

Es importante determinar la plasticidad en las arcillas ya que son eminentemente plásticas y la propiedad se debe a que el agua forma una capa que envuelve a las partículas laminares, originando un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. El espacio entre las láminas es uno de los factores que se interponen en la absorción o pérdida de agua de las arcillas. En otras palabras, la elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño, elevada área superficial y alta capacidad de hinchamiento.



La tendencia moderna al uso de este tipo de materiales en aplicaciones de ingeniería, ha orientado a la industria mediante el desarrollo de bases propias para determinar las propiedades y comportamiento de este tipo de materiales, con el fin de mejorar su base de diseño, especificación y caracterización.

La realización del presente proyecto surge de la necesidad del taller de Cerámica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, ya que este no cuenta con un instrumento que proporcione un valor de plasticidad como característica cuantitativa de las pastas que se preparan en el mismo. Tal instrumento deberá determinar si la pasta preparada tiene el contenido de agua y componentes plásticos arcillosos necesarios.

Dada la problemática se rediseñó el plasticímetro de Pfefferkorn añadiendo nuevos materiales como polímeros, y se respetaron elementos principales del plasticímetro como, la masa de impacto del martillo, la altura existente entre este último y la base, así como el tamaño estándar de las probetas. Con dicho rediseño se logra un funcionamiento más práctico y seguro para el usuario, esto dado por las características específicas de los materiales utilizados. Sin perder su objetivo primordial, la medición de la plasticidad, en la cual se logran resultados más exactos.

Por lo que se puede observar el rediseño del plasticímetro de Pfefferkorn no solo cubre la necesidad del taller antes mencionado, sino que también aporta mejoras en el producto, que aseguran un apropiado conformado de piezas cerámicas evitando que se generen grietas después del secado posterior.

A lo largo de seis capítulos se presenta la investigación y análisis realizados que determinaron la importancia de la plasticidad. Se presentan las características generales del proyecto tales como: la estructuración del problema, los antecedentes teóricos, el proceso de diseño, resultados acerca de la propuesta seleccionada, el modelo funcional y la presentación del desarrollo experimental para determinar el rediseño del proyecto.

## 1.2 Planteamiento del problema

La importancia de medir el grado de plasticidad de las arcillas, radica en obtener un valor numérico que permita determinar, si la pasta es apta para moldearse y el cual garantizará que es factible mantener su forma sin que se rompa o agriete antes de llegar a la etapa de secado.

El método a usar se basa en que la plasticidad de una arcilla, puede determinarse por la compresión y correspondiente deformación ejercida en muestras cilíndricas de un determinado tamaño, amasadas con diferentes porcentajes de agua, sometidas a compresión por caída de un martillo de determinado peso.

De manera contraria, si hay una recuperación de la forma original, se habla de elasticidad. Este comportamiento de los materiales es afectado por la temperatura y existen materiales que presentan un comportamiento mixto.

El instrumento a rediseñar se conoce como Plasticímetro de Pfefferkorn, aparato fabricado de acuerdo con los estudios realizados mediante el método de Pfefferkorn, para la determinación del grado de facilidad de moldear arcillas. Este instrumento está equipado con dos escalas de lectura donde se lee la deformación de la probeta. Una escala está en milímetros y la otra según las experiencias de Pfefferkorn. Considerando otra de las características del instrumento como lo son la masa del impacto que equivale  $m = 1,180 \text{ gr.}$  y la altura de la caída  $h = 168 \text{ mm.}$  Las probetas están construidas con un molde cilíndrico de 30 mm. De diámetro interior y 45 mm. de altura.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo principal**

Rediseñar un instrumento que proporcione un valor cuantitativo de forma mecánica, a través de una escala en milímetros donde se lea la deformación de la probeta, para determinar la plasticidad de las pastas cerámicas que se preparen y usen en el Taller de Cerámica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Realizar investigación documental
- Llevar a cabo análisis de valores y funciones del instrumento
- Diseñar propuestas
- Analizar propuestas
- Elegir propuesta final
- Elaborar planos para el plasticímetro
- Modelar (render, animación)
- Construir el plasticímetro prototipo

## **1.4 Justificación**

Una de las principales características físicas de las arcillas, es la plasticidad. Y el valor que se determina al medir ésta, se relaciona con el óptimo desempeño de la pasta durante el conformado del objeto. Debido a su importancia, existe un criterio de clasificación de arcillas relacionado con esta propiedad: las arcillas plásticas y las no plásticas.

Las arcillas plásticas: “hacen” pasta con el agua y se convierten en modelables, en cambio las arcillas no plásticas, confieren a la pasta una determinada estructura, que pueden ser químicamente inertes en la masa, ó crear una vitrificación en altas temperaturas (fundentes). De aquí la importancia de contar con un plasticímetro.

En el Taller de Cerámica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, se preparan pastas con arcillas, como primer paso en el proceso de fabricación de cerámicos. Sin embargo, no se cuenta con dicho plasticímetro que proporcione un valor cuantitativo de la plasticidad de dichas mezclas.

Es por esto, que este proyecto busca cubrir esa necesidad a través del rediseño del plasticímetro de Pfefferkorn. Y además contribuir a prácticas más eficientes en el taller de Cerámica.

## **1.5 Descripción de la metodología**

### **1.5.1 Metodología de Investigación Bruno Munari**

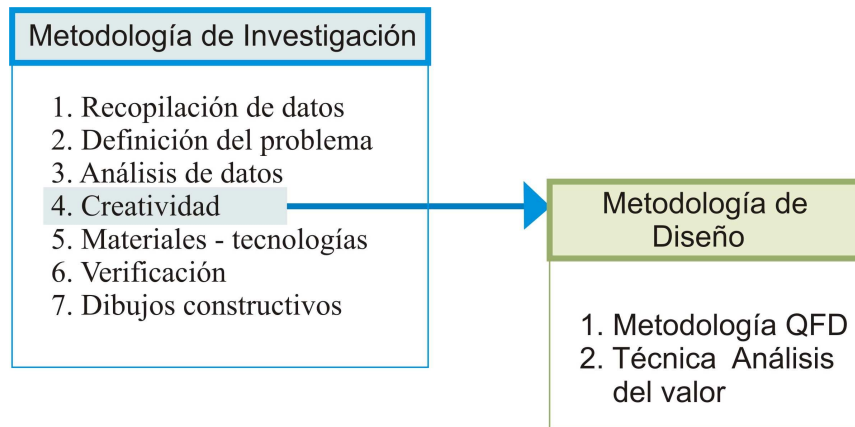
El desarrollo de la metodología que se llevó acabo en el producto, se inició con un proceso metodológico de investigación, de Bruno Munari.<sup>1</sup> Este autor, propone un método proyectual, basado en la resolución de problemas. La metodología plantea sistematizar la resolución de los problemas, evitando un estancamiento del proyecto.

Dicha metodología de investigación se adecua perfectamente con el planteamiento del problema.

---

<sup>1</sup> Bruno Munari “Como nacen los objetos” Editorial Gustavo Gilila 8ª edición del 2000

Pasos de la metodología:



**Figura 1. Proceso metodológico de investigación y diseño**

### 1.5.2 Metodología de diseño QFD

Debido a que la tecnología moderna se actualiza cada día, a la par se modifican los requisitos de desarrollo de un nuevo producto. Dicho producto debe seguir satisfaciendo las necesidades humanas, generando a su vez un nuevo problema de organización y comunicación. Por lo tanto, el proceso de diseño debe ser cuidadosamente planeado y desarrollado sistemáticamente, surgiendo así la metodología de diseño.

Como ya se mencionó anteriormente, la metodología de investigación a utilizar es la de Bruno Munari, la cual contempla 7 apartados, dentro de ellos la creatividad. Esta última se tomo como base para elegir la metodología de despliegue de la Función de la Calidad o QFD (por sus siglas en inglés); como metodología de diseño a utilizar. Con la cual se probaron los conceptos iniciales del diseño del producto.

La metodología de despliegue de la función de la calidad, QFD. Nos permite incluir algunas otras metodologías, e incluso técnicas como son: la lluvia de ideas, el análisis de valor, los sistemas de gestión, el “justo a tiempo” (Just In Time) y el mantenimiento productivo total. Estas técnicas ayudan a implementar y mejorar la metodología, por lo que se utilizará como apoyo en esta aplicación del rediseño, principalmente la técnica del análisis de valor, la cual permite elegir la mejor opción analizando el valor de cada función.

Los objetivos de la metodología QFD<sup>2</sup> son los siguientes:

- Análisis de productos de la competencia (Benchmarking)
- Acumular y analizar la información sobre la función
- Comunicar a procesos posteriores la información relacionada con la función
- Reducir del número de cambios de diseño o modificación de los elementos
- Desarrollar nuevos productos que proporcionen un rediseño
- Reducir costos de desarrollo
- Elaborar propuestas
- Analizar y seleccionar

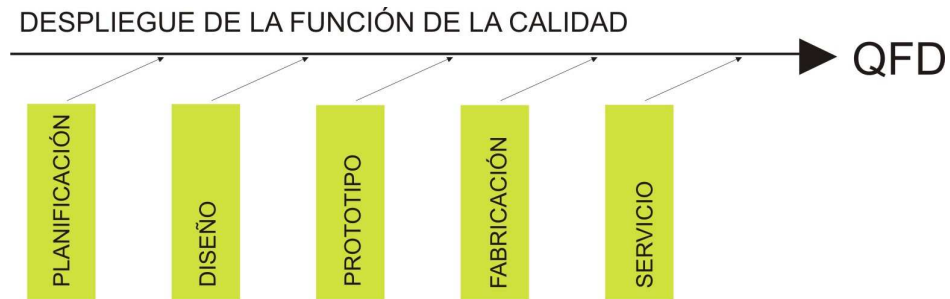
La metodología de diseño presenta una visión general del proceso. Es necesario utilizarla como guía a través de las diferentes etapas de este.

El QFD se utiliza tanto al inicio (como base para el desarrollo) o durante el proceso del desarrollo mismo.

---

<sup>2</sup> **Artículo.** Enrique Yacuzzi, Fernando Martín.- QFD: Conceptos, Aplicaciones y nuevos desarrollos. Universidad del CEMA, Aventis Pharma.- [en línea]  
<http://www.cema.edu.ar/publicaciones/download/documentos/234.pdf>.- Abril 2003

El siguiente esquema muestra las etapas a seguir para la elaboración del rediseño.



**Figura 2. Etapas de la QFD para la elaboración de un producto**

## 1.6 Delimitaciones

El proyecto está basado en un diseño original, concebido por Pfefferkorn y un rediseño ya establecido en el mercado. Para la creación del rediseño se retomaron medidas, pesos y escalas establecidas, así como la masa del impacto del martillo que equivale a 1,180g. y la altura de caída de 168 mm. Definiéndose la creación de diversas propuestas e ideas, así como también la producción del producto.

Fue necesario elaborar el prototipo funcional, el cual permitiera mostrar detalladamente la forma y la función del producto. Como complemento del prototipo, se elaboró una animación tridimensional en donde se muestran claramente, los pasos a seguir para la utilización del producto. Así como planos técnicos que muestran el ensamblado del prototipo y un manual de usuario. (Ver anexos)

## II. ANTECEDENTES TEÓRICOS

---

La palabra cerámica tiene su origen en el vocablo griego que significa “cosa quemada”. Para este pueblo, los materiales cerámicos eran una combinación perfecta de los cuatro elementos que forman la tierra: están hechos con tierra, moldeados con agua, secados al aire y se consolidaban mediante el fuego.

Los materiales cerámicos han sido fabricados y usados por el hombre desde épocas muy remotas. Según la evidencia arqueológica, la historia de la cerámica pudo haber iniciado desde la era paleolítica.

Cuando los arqueólogos localizan restos de civilizaciones antiguas, en la mayoría de las veces se encuentran restos de piezas cerámicas. Estas piezas sirven para determinar la época en la que fueron fabricadas debido a que esta clase de materiales es más perdurable que los restos orgánicos como pieles, maderas o huesos.



**Figura 3. Izq. Tubería de drenaje (Comalcalco, Tabasco) Der. Vasija de servicio (Monte Albán, Oaxaca)**



En la actualidad, los productos cerámicos representan una clase de materiales que usamos cotidianamente como lo son: azulejos, vajillas, muebles de baño, ladrillos, etc., por mencionar solo algunos.

En la producción de cerámicos se aplican diferentes métodos de conformado, cada uno con sus propias ventajas y desventajas. No obstante, un requisito que deben cumplir todos, es el de obtener una pieza que no se deforme una vez que ha sido conformada. Con esto, se asegura una estabilidad de la forma a lo largo de todas las etapas del proceso, que incluyen al secado, los tratamientos térmicos y la inevitable manipulación por el personal a cargo de cada fase del procesamiento.

## **2.1 Las arcillas**

Las arcillas son la principal materia prima para conformar un artículo cerámico, La cual es un mineral formado principalmente, por silicatos de aluminio. A su vez, los feldespatos son los minerales más abundantes en la corteza terrestre (aproximadamente 60%). Debido a la erosión que ha ocurrido en la corteza a través del tiempo y durante muchos millones de años, los feldespatos se han ido desgastando. Uno de los productos de este desgaste son las arcillas.

Las arcillas se extraen de distintos puntos geográficos, cada uno con diferentes impurezas. Por esta razón, no se tiene una fórmula química única que las represente; no obstante, los componentes mayoritarios son: alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Los demás compuestos que la integran se consideran impurezas y pueden contribuir a mejorar la materia prima o diversificar las aplicaciones finales. Estas proporciones de alúmina, sílice y otros componentes varían de una arcilla a otra, por lo que pueden clasificarse de acuerdo al proceso geológico que las originó y a la ubicación del yacimiento en el que se encuentran. Así, las arcillas se pueden clasificar en dos grandes grupos: residuales (primarias) o sedimentarias (secundarias).

Las arcillas primarias contienen partículas erosionadas relativamente grandes, bastante libres de impurezas, que no han sido arrastradas por el agua o el viento y permanecen cerca de la roca madre. De manera contraria, las arcillas secundarias han sido arrastradas por las fuerzas erosivas y como consecuencia, tienen un tamaño de partícula menor al de las arcillas residuales.

También el nivel de pureza es inferior debido a que en su trayecto se mezclan con otros elementos. Algunas arcillas al quemarse adquieren diferentes tonos, que pueden ir desde el blanco hasta el negro, dependiendo de las impurezas presentes.<sup>3</sup>

La característica principal de las arcillas es su facilidad de absorber o perder agua debido a su estructura laminar, tal y como se explicará más adelante. Tienen un tamaño de partícula muy pequeño (inferior a los 2  $\mu\text{m}$ ) y por lo tanto una gran área superficial. Estas últimas características les permiten interactuar con un amplio número de elementos de la tabla periódica, lo que a su vez, da como resultado propiedades diferentes en cada combinación.

Otra característica importante es la del intercambio catiónico, principalmente en las suspensiones acuosas ya que ayuda a formar una mezcla homogénea. Sin embargo, la característica más notable de las arcillas es la capacidad de absorción. Esta propiedad está directamente relacionada con la textura superficial y la porosidad. La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Son estas características lo que ha permitido aprovechar las arcillas en diferentes industrias aparte de la cerámica. Como ejemplo, se puede mencionar la industria farmacéutica, la industria papelera, en pozos petroleros, en la fabricación de alimentos para animales, entre otros.

---

<sup>3</sup> **Artículo.** Suburban emergency management project. What is Clay.- [En línea].- [http://www.semp.us/biots/biot\\_226.html](http://www.semp.us/biots/biot_226.html), June 23, 2005

## 2.2 Métodos de conformado

Una vez que la materia prima (arcilla) ha sido seleccionada y se han agregado los aditivos correspondientes, es necesario formar la pieza. Existen diferentes técnicas, por ejemplo: prensado de polvos, vaciado de barbotina, moldeado en torno, por extrusión, moldeado manual y moldeado por tarraja, entre otros.

En general, las pastas cerámicas deben cumplir con determinadas condiciones básicas para obtener los resultados deseados como son:

- Uniformidad en su composición.
- Plasticidad adecuada al sistema de conformado utilizado.
- En el caso de suspensiones acuosas (barbotinas) su comportamiento reológico debe ser controlado mediante el agregado de aditivos adecuados.
- El objeto formado debe presentar una resistencia mecánica suficiente como para permitir la manipulación de la pieza hasta su cocción.

Cada una de las técnicas mencionadas presenta diferentes contenidos de agua. Por ejemplo, en el prensado de polvos el contenido de agua no excede el 4%, mientras que el vaciado de barbotina, la pasta cerámica es en realidad una suspensión acuosa

## 2.3 Estructura

Como es bien sabido en la ciencia de los materiales, las características de un material están íntimamente relacionadas con su estructura interna. Se entiende por estructura de un material al ordenamiento espacial de sus elementos estructurales y al conjunto de relaciones geométricas entre ellos.

La estructura laminar de las arcillas se basa en la unión de tetraedros Si-O y octaedros O-Al-OH combinándose entre sí mediante el apilamiento de planos (Fig. 4). Los elementos que entran como impurezas pueden sustituir cualquiera de estos elementos en la red cristalina.

El espacio entre estas láminas es uno de los factores que intervienen en la absorción o pérdida de agua en las arcillas: el agua forma una capa que envuelve a las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.<sup>4</sup> Lo anterior, da como resultado una de las características físicas más importantes de las arcillas: la plasticidad.

Algunos estudios han concluido que la absorción de agua depende fuertemente de la naturaleza de intercambio catiónico entre las arcillas y el medio acuoso.<sup>5</sup>

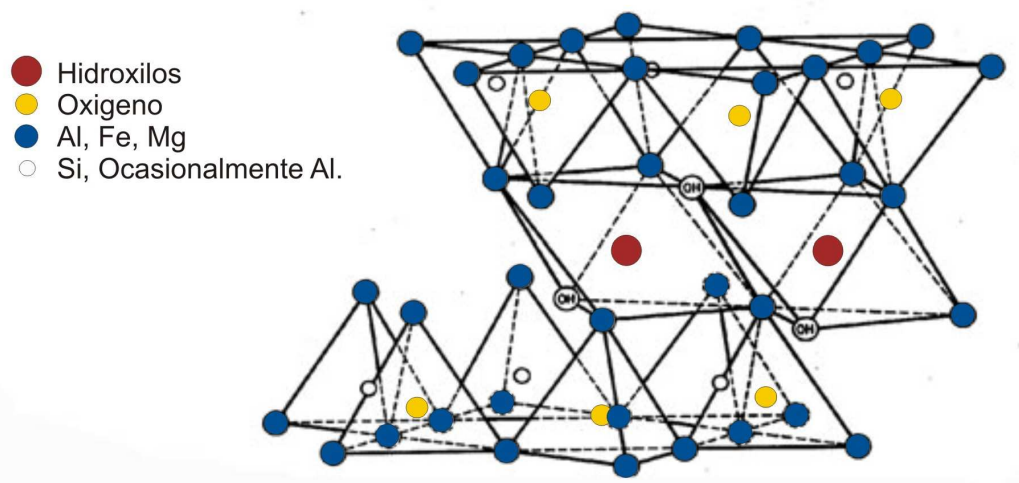


Figura 4. Estructura laminar de la arcilla

<sup>4</sup> Artículo. Emilia García Romero, Mercedes Suárez Barrios.- Las arcillas: propiedades y usos. Universidad Complutense Madrid, Universidad de Salamanca. [En línea].- <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm> , Octubre 16, 2006.

<sup>5</sup> C. D. Barton. "Clays Minerals". Department Agriculture Forest Service, Aiken, South Carolina, U.S.A. Encyclopedia of soil Science (2002)

## 2.4 La plasticidad

Se denomina plasticidad a la propiedad que tiene un material de deformarse bajo la acción de un esfuerzo (tracción o compresión) y de mantener la forma conferida una vez que se retira la fuerza constante (Fig. 5). La magnitud de esta deformación es proporcional al esfuerzo causal. De manera contraria, es decir, si hay una recuperación de la forma original, se habla de elasticidad (Fig. 6). Este comportamiento de los materiales es afectado por la temperatura, y hay materiales que presentan un comportamiento mixto. Por lo tanto la plasticidad exhibe los sistemas fluidos y se evidencia por una deformación permanente.

En la actualidad no existe una interpretación universalmente aceptada de la plasticidad, sin embargo existe una convención en asociar una deformación permanente sobre el sistema de consideración, producida por un esfuerzo que la produce.<sup>6</sup>

El comportamiento de las pastas cerámicas ha sido estudiado ampliamente para determinar las propiedades reológicas, es decir, sus características de flujo.<sup>7</sup> De estos análisis, se ha concluido que las características plásticas de las pastas cerámicas, están determinadas principalmente por la combinación de fuerzas químicas, factores físicos y cristalográficos en los sistemas de fases sólido-líquido. Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una capa envolvente alrededor de las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.<sup>8</sup>

---

<sup>6</sup> E.C. Bloor. "Plasticity, a Critical Survey". Transaction British Ceramic Society. 56 (9) 423, (1957)

<sup>7</sup> W. Eitel. "Silicate Science". Vol. I "silicates Structures". Academia Press, New York (1964).

<sup>8</sup> ASTM. "Método de determinación de Plasticidad" designación C. 181 (1947).



**Figura 5. Esquema representativo de la plasticidad**

De lo contrario si hay una recuperación de la forma original, se habla de elasticidad. Como se muestra en la (Fig. 6).



**Figura 6. Esquema representativo de la elasticidad**

Para medir la plasticidad de las arcillas existen diversos criterios. La plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, y esa misma, con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o, inclusive, las de una suspensión líquida. Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente.

En segundo lugar, la plasticidad de una arcilla exige, para ser expresada en forma conveniente, la utilización de dos parámetros en lugar de uno. Según su contenido de agua en forma decreciente, una arcilla susceptible de ser plástica puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia.

- 1.- Estado líquido, con las propiedades y apariencias de una suspensión.
- 2.-Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
- 3.-Estado plástico, en el que se comporta plásticamente.
- 4.-Estado semi-sólido, en el que la arcilla tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto al secado.

El comportamiento de la pasta arcillosa al aplicarse un esfuerzo depende, esencialmente, de la magnitud de éste. Es decir, si el esfuerzo es menor al correspondiente valor de fluencia, no se producirá efecto alguna en la pasta, comportándose como inmaterial rígido. Pero si el esfuerzo aplicado es superior, entonces la pasta exhibe flujo plástico y experimenta una deformación que aumenta hasta que se produce su rotura.<sup>9</sup>

Para fines prácticos, el punto de fluencia de una pasta arcillosa debe ser lo suficientemente alto para que ocurra deformación al ser trabajada, pero al mismo tiempo, la deformación debe de ser tal, que permita el moldeado de piezas sin que esta se rompa. El producto de valor de fluencia por la deformación máxima experimentada proporciona una predicción del grado de facilidad, la cual se toma como una expresión alterna a la definición de plasticidad.

Los factores que influyen sobre la plasticidad son muchos; sin embargo, limitándose sólo al sistema arcilla-agua, se consideran los siguientes:<sup>10</sup>

- Contenido de agua del sistema
- Tamaño de las partículas de arcilla (distribución granulométrica)

---

<sup>9</sup> Ítem 8

<sup>10</sup> Lic. H. Chamorro, Dr. T. Krenkel y Dr. E. Pereida. "Correlación entre índices de plasticidad de arcillas" Bol. Soc. Esp. Ceram., Vol. 7, Num. 4.

- Composición de las partículas
- Orientación de las partícula en la pasta
- Historia previa del sistema

Otro factor que está ligado con la plasticidad de las pastas, es la permeabilidad de las mismas. La permeabilidad es la capacidad que tiene un material para permitir el paso del agua. Los materiales permeables son aquellos que tienen poros en su estructura. Estos poros deben, además, estar conectados entre sí para permitir la circulación del agua. Las arcillas son materiales muy porosos pero, al ser poros muy pequeños el agua no circula, por lo que son materiales impermeables. La importancia de determinar el grado de plasticidad de las arcillas radica en que se obtiene un indicador de la facilidad de moldear una pieza, a partir de una pasta cerámica logrando mantener su forma sin que se rompa o agriete.

Existen diversas técnicas para evaluar la plasticidad de las arcillas como son:

1. Medición de la cantidad de agua necesaria para desarrollar la plasticidad óptima para un dado sistema de conformado, generalmente estimada por el operador en forma subjetiva, según su experiencia.
2. Medición de los límites máximo y mínimo del contenido de agua de la pasta entre las cuales se manifiesta la plasticidad (método Atterberg).
3. Medición de la penetración de un objeto (aguja o punzón) en una pasta para distintos contenidos de agua y para aun dada presión.
4. Medición de la presión para iniciar la deformación permanente de la pasta, y de la máxima deformación que puede experimentar la misma antes de la rotura, para distintos contenidos de agua y con distintas velocidades de aplicación (Método de Pfefferkorn).<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> A.D searle, R.W. Grimshaw. "The chermistry and physics of clays and other ceramic materials". Ed. E Benn Limited. London (1960).



## 2.5 Determinación de la plasticidad

Cuando una pasta cerámica es sometida a un esfuerzo, su comportamiento dependerá de la magnitud del mismo. Es decir, para un esfuerzo menor al correspondiente punto de fluencia no hay efecto sobre la pasta, comportándose como un sistema rígido. Si el esfuerzo es mayor, la pasta exhibe un flujo plástico y experimenta una deformación que eventualmente producirá una rotura.

Para que una pasta cerámica se pueda utilizar debe poseer un punto de fluencia suficientemente alto, para no deformarse espontáneamente. Por este motivo, el producto del valor de fluencia por la deformación máxima experimentada, es un indicador de la trabajabilidad de las pasta. Debido a esto, la trabajabilidad se toma como una expresión extensiva de la plasticidad y en muchos casos se le acepta como sinónimo.

Existen diferentes métodos para determinar la plasticidad de pastas cerámicas. Estos se pueden clasificar en dos grupos, según que el método determine directa o indirectamente propiedades relacionadas con la plasticidad.<sup>12</sup>

**Tabla 1. Métodos que determinan la plasticidad**

Métodos propuestos para la determinan la plasticidad	
Métodos indirectos	Método de Atterberg
Métodos directos	Métodos subjetivos Métodos de extrusión Métodos de tracción, cizalladura y torsión Métodos de compresibilidad

El método que se utilizó fue el de Pfefferkorn, el cual se ubica dentro de los métodos directos, específicamente dentro de los métodos de compresibilidad. Las características del mismo son explicadas mas adelante de manera detallada.

<sup>12</sup> F. Moore "Two instruments for studying the plasticity of clays". J. Sci. Instrum. 1963, Vol. 4

## **2.6 Métodos Indirectos**

### **2.6.1 Método de Atterberg**

Este método se basa en las investigaciones que el científico Albert Atterberg realizó hace casi 100 años. Él, definió la plasticidad como la capacidad que presentaban los suelos a ser deformados, ya que éste era su área de investigación. Así, sus observaciones lo llevaron a descubrir que los suelos arcillosos en condiciones húmedas son plásticos y se vuelven rígidos al secarse. También encontró que existen arcillas altamente plásticas y otras de muy baja plasticidad. Al ir desarrollando sus ideas, observó que al agregar agua a las arcillas se formaba un fluido apenas viscoso.<sup>13</sup> Con un menor contenido de agua, la mezcla se volvía un fluido con una cierta rigidez que se tornaba pegajoso. Con la evaporación de mayor cantidad de agua, la mezcla ya no era pegajosa y se tenía una pasta que era fácilmente manejable a la que se le podía dar la forma deseada.

Aunque esta técnica permite definir con buenos resultados la zona de existencia del estado plástico, si bien basa la plasticidad sólo en el contenido de la humedad, tiene el inconveniente de ser poco aplicable al control de producción, puesto que no permite la determinación directa de la plasticidad de la pasta y resulta ser un tanto costoso respecto al tiempo de operación y al cálculo por determinación, y no tiene en cuenta efectos modificadores de las propiedades de las pastas que origina la extrusión.

Sin embargo, el método de Atterberg parece ser el método óptimo para control y ensayo de laboratorio.

---

<sup>13</sup> A. M. Querol Villalba "Aplicación del método de Pfefferkorn al control de la plasticidad en pastas de extrusión" Boletín de la Sociedad española de Cerámica y vidrio. Vol. 22, Num. 5 285-289 (1983).

## **2.7 Métodos Directos**

### **2.7.1 Métodos subjetivos**

Por su naturaleza, son imposibles de aplicarse en el control industrial, puesto que no se puede extrapolar de la experiencia sensitiva del alfarero.

### **2.7.2 Métodos de extrusión**

Es necesario tener en cuenta que el método de extrusión mediría más bien la viscosidad de la pasta, y la viscosidad de la pasta no es aceptable puesto que olvida la componente elástica de la plasticidad, base del proceso y que éste, presenta, según S. Berg, la desventaja de alterar la extrusión y radicalmente las propiedades de la arcilla, por orientación preferente de las partículas y presentar, según Atsbury, una discontinuidad de la gráfica de velocidad de extrusión – presión, de lo que da idea de la existencia de un esfuerzo límite, factores que hay que tener en cuenta si se desea obtener datos de la plasticidad, pero que no son obstáculos para que los índices obtenidos representen una expresión adecuada del comportamiento real de la pasta en condiciones similares a las de una manipulación industrial.<sup>14</sup>

### **2.7.3 Métodos de comprensibilidad**

Estos métodos relacionan directamente la presión aplicada con la deformación producida, por lo que parecen a prioridad los más adecuados. Mc. Dowell propuso medir la deformación de una probeta sometida a la acción directa de compresión por parte de una masa constante durante treinta segundos, mientras que el de Pfefferkorn propuso que se determinará la deformación experimentada tras el impacto de una masa que cae de una altura fija.

---

<sup>14</sup> Ítem 12

Otros métodos como el de tracción, cizalladura y torsión presentan el inconveniente de ser poco adaptables a uso para control de producción.

## **2.8 Elección del método de determinación de la plasticidad**

La duda de escoger entre un método basado en la extrusión u otro basado en la comprensibilidad, en principio parece el más adecuado el basado en someter a la pasta a condiciones semejantes a las que sufrirá en el proceso, ya que el método de extrusión no es aceptable puesto que olvida la componente elástica de la plasticidad y su utilidad parece mas adecuada como método adicional de control de barbotinas. Pero como podremos observar, el método de Pfefferkorn, nos aporta las suficientes ventajas como para preferirlo en el control de pastas y extraído.<sup>15</sup> Este método de Pfefferkorn ya ha sido utilizado en empresas y ha proyectado buenos resultados obtenidos en un intento de implantación en control de producción en una fábrica de productos cerámicos.

Existen otros métodos como el método de Rieke que es utilizado en Europa ampliamente en España, pero este método se considera por parte de diversos autores como un método que además de no medir la plasticidad, da resultados no reproducibles por distintos operadores, por lo que no puede ser tomado en cuenta por un estudio.

---

<sup>15</sup> Ítem 12

## 2.9 Método de Pfefferkorn

Método directo, de comprensibilidad propuesto por Pfefferkorn, para obtener un valor de la plasticidad de una pasta cerámica que consiste en someter una probeta a un ensayo de compresión. La configuración de la probeta es un cilindro de dimensiones normalizadas a la que se le deja caer un martillo, también de peso determinado y que cae bajo la acción de la gravedad recorriendo una trayectoria fija (Fig. 7).<sup>16</sup> Las probetas a ensayar tienen diferentes contenidos de agua. El coeficiente de plasticidad obtenido de este ensayo corresponde al porcentaje de agua al cual la muestra experimenta una contracción del 30% con respecto a su altura inicial.

Se define con este fin un factor de proporcionalidad entre la altura de la muestra antes y después del ensayo. Al contenido en humedad que hace a este coeficiente igual a 3.3 se le da el nombre de coeficiente de plasticidad (que se denotará como  $\alpha$ ). Pfefferkorn llegó a esta definición del coeficiente de plasticidad mediante pruebas prácticas, después de haber encontrado que es posible dividir la amplitud de la deformabilidad de las arcillas en tres grupos, según el valor que toma el coeficiente de proporcionalidad. Si  $\alpha < 2.5$  el contenido de humedad de la pasta es insuficiente para su utilización; si  $2.5 < \alpha < 4.0$ , la pasta contiene una proporción de agua que le confiere una deformabilidad satisfactoria. De lo contrario, si  $\alpha > 4.0$ , la pasta empieza a ser pegajosa y no es apta para utilizarse.

---

<sup>16</sup> **Artículo.** Equipamientos cerámicos.-[En línea].- <http://www.servitech.com.br/espanhol/plasticimetro.htm> ,  
june2006

Este método es muy útil en la determinación de la plasticidad para asegurar un apropiado conformado de piezas cerámicas evitando que se generen grietas después del secado posterior.<sup>17</sup>



**Figura 7. Plasticímetro de Pfefferkorn**

### **3.0 Material y método de operación**

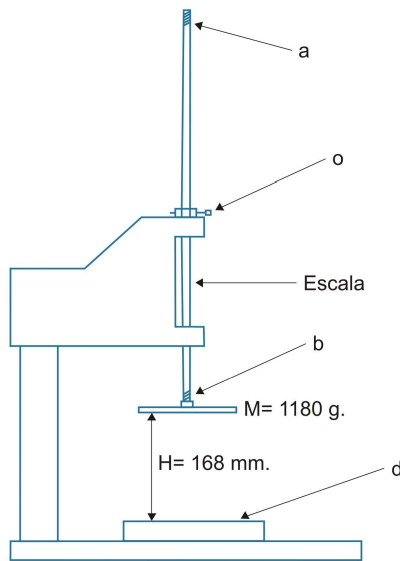
El plasticímetro de Pfefferkorn fue diseñado y construido con las siguientes características:

- Masa de impacto:  $m=1,180$  g.
- Altura de caída: 168 mm.
- Escala: Lectura en mm.
- Las probetas utilizadas han sido construidas con un molde cilíndrico de 30mm. de diámetro interior y 45 mm. de altura.

---

<sup>17</sup> Ítem 12

- El plasticímetro ha sido diseñado para servir al mismo tiempo de fléxometro y pentrómetro adaptando a la parte a (Fig. 8), un plato soporte de masas en la parte d, que a su vez es la posición de la probeta, y adaptando en b un cilindro de penetración.<sup>18</sup>



a: Flexómetro  
 b: Penetrómetro  
 d: Plato soporte de masas  
 o: Pasador

**Figura 8. Esquema del plasticímetro de Pfefferkorn**

Para evitar el pegado de la probeta al molde, se aplica un lubricante, ya que la adherencia de la pasta al metal, hace difícil su manejo y no permite determinar su humedad, por la pesadez que ocasiona dicha adherencia.

---

<sup>18</sup> Ítem 11


#### 3.1 Desarrollo de la Metodología QFD

En este capítulo se desarrollará la metodología de diseño. Como ya se mencionó anteriormente, la metodología de investigación es la de Bruno Munari. Ésta contempla 7 apartados, dentro de ellos la creatividad, tomando éste, como base para elegir la metodología de diseño QFD.

#### 3.2 Investigación de productos existentes en el mercado

En ésta se realizó una investigación del plasticímetro concebido por Pfefferkorn y de uno de los plasticímetros comercializados actualmente en el mercado, con el fin de acumular y analizar información sobre la función de estos.

**Tabla 2. Plasticímetro Original, de K. Pfefferkorn**

	Características de uso y fabricación
	<p>Las primeras determinaciones se llevaron a cabo con este plasticímetro concebido por K. Pfefferkorn.</p> <p>El método está basado en la medida de la deformación que experimentan unos cilindros normalizados en diámetro y altura (obtenidos con arcilla y agua), producida por la caída sobre la base superior de los mismos desde su altura fija, de un plato rígido guiado por un vástago de peso de 1180 g.</p> <p>La plasticidad queda determinada por el grado de aplastamiento del cilindro y esta propiedad se evidencia por cilindros que sufren una deformación entre 2,5 y 4.</p> <p>Esta relación se obtiene dividiendo la altura inicial del cilindro por la altura final del cilindro.<sup>19</sup></p>

<sup>19</sup> Ítem 8



**Tabla 3. Plasticímetro de k. Pfefferkorn, elaborado por Gabrielli**

	Características de uso y fabricación
	<p>Aparato equipado con escala de lectura en milímetros, donde se determina la deformación de la probeta.</p> <p>El método se basa en que la plasticidad de una arcilla puede determinarse por la compresión y correspondiente deformación ejercida en muestras cilíndricas de un determinado tamaño, amasadas con diferentes porcentajes de agua, sometidas a compresión por caída de un gato de determinado peso.</p> <p>La barra del martillo cuenta con un seguro con el que se puede sostener a la hora de colocar la muestra en el disco porta muestra, Además se suministra de equipo un aparato para formación de la probeta.<sup>20</sup></p> <p>Medidas máximas externas 250 x 370 x 480 (l x p x h) mm. Peso total del producto 24 Kg.</p>

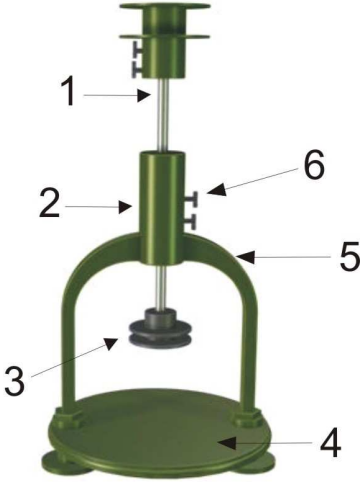
### 3.3 Análisis de productos existentes en el mercado

Una vez realizada la investigación, se analizaron tanto el plasticímetro original, como el ya existente en el mercado, identificando sus características y funciones principales de cada uno de ellos, de tal manera, que se pudiera llevar a cabo el benchmarking, para el rediseño.

---

<sup>20</sup> Ítem 13

**Tabla 4. Análisis del producto original por K. Pfefferkorn**

Plasticímetro de Pfefferkorn	
Nombre del Producto: Plasticímetro de PFEFFERKORN	

**Análisis estructural** ¿Con qué componentes cuenta el producto?

1. Barra porta martillo
2. Escala
3. Martillo
4. Base
5. Estructura
6. Seguro del martillo

**Análisis Funcional** ¿Cómo funciona físico-técnicamente el producto?

El producto va equipado con dos escalas de lectura, donde se lee la deformación de la probeta: una es en milímetros y la otra según las experiencias de Pfefferkorn. El aparato funciona al ser accionado por el usuario a través de un seguro, para dejar caer el martillo.

**Análisis de uso** ¿Cómo es la interrelación entre el producto y el usuario?

El usuario una vez que coloca la muestra en la base, quita el seguro del martillo, de esta manera la barra del porta martillo cae por el peso ya establecido, lo cual permite obtener la lectura.

**Análisis Morfológico** ¿Cuáles son las relaciones estético-formales existentes en el producto?

El plasticímetro cuenta con una forma equilibrada donde la rigidez se ve reforzada en su estructura, pero éste, es pesado por el material de acero con el que está hecho, además no es cómodo al ser accionado por el usuario, y también al levantar la barra porta martillo, por lo que al usuario le resulta difícil de usarse.

- Su adquisición es complicada.
- El producto va equipado con dos escalas de lectura, una es en milímetros, ésta se obtiene a través del funcionamiento mecánico del aparato. y la otra por las experiencias de Pfefferkorn.

**Análisis de Mercado** ¿Cuál es la demanda del producto, así como el medio en el cual se ha dado?

Es un aparato con poca demanda en el mercado, por ser difícil de usarse y no contar con una ergonomía y función adecuada. No se cuenta con una referencia del costo, pues solo son adquiridos por laboratorios algunas veces.

Se realizó un análisis de este producto para obtener información de cada uno de los componentes y características que integran el plasticímetro de Pfefferkorn. Por lo que el siguiente plasticímetro elaborado por la empresa F. Gabrielli Technology se analizará de igual forma.

Tabla 5. Análisis del producto elaborado por F. Gabrielli Technology

Plasticímetro de Pfefferkorn , elaborado por Gabrielli	
Nombre del Producto: Plasticímetro de PFEFFERKORN	

**Análisis estructural** ¿Con qué componentes cuenta el producto?

1. Barra porta martillo
2. Escala
3. Martillo
4. Base
5. Disco porta muestra
6. Estructura
7. Seguro del martillo
8. molde para las muestras

**Análisis Funcional** ¿Cómo funciona físico-técnicamente el producto?

El producto está equipado con un molde, así como una escala de lectura, donde se lee la deformación de la probeta en milímetros, esta se obtiene a través del funcionamiento mecánico del aparato, al dejar caer la porta martillo.

**Análisis de uso** ¿Cómo es la interrelación entre el producto y el usuario?

El plasticímetro es utilizado para determinar la plasticidad de una arcilla, esta se puede obtener por la compresión y correspondiente deformación ejercida en muestras cilíndricas de un determinado tamaño, amasada con diferentes porcentajes de agua.

El plasticímetro debe ser accionado por el usuario, quitando un seguro, de esta manera la barra porta martillo cae por el peso ya establecido, lo que le permite al usuario obtener la lectura, la cual determina el grado de plasticidad de las arcillas.

**Análisis Morfológico** ¿Cuáles son las relaciones estético-formales existentes en el producto?

Analizando el producto se puede observar que cuenta con una forma equilibrada pero su peso es demasiado (24 kg.), además no cuenta con una función y ergonomía adecuada en la manija de la barra porta martillo y en el seguro, por lo que al usuario le resulta difícil de usarlo y transportarlo.

- Son difíciles de manipular al momento de usarse.
- El material con el que está hecho este producto, no es fácil de conseguirlo en el mercado, por lo que al ser todo maquinado se eleva su costo.
- El producto va equipado con dos escalas de lectura, ya mencionadas anteriormente.

**Análisis de Mercado** ¿Cuál es la demanda del producto, así como el medio en el cual se ha dado?

Este plasticímetro a pesar de ser uno de los aparatos necesarios para los talleres de cerámica, su adquisición es complicada, no solo por el costo, sino por el medio de distribución que utiliza la empresa Gabbrielli para comercializarlo; por lo que solo unos cuantos talleres cuentan con él, uno de los distribuidores de esta empresa es servitech.

Finalmente analizando los dos instrumentos, se obtuvo información de cada una de sus funciones que lo integran, una vez identificadas sus características principales de cada uno de ellos, se aplicó el benchmarking. Una vez realizado lo anterior, se partió, en base a diversos fundamentos para determinar y establecer un análisis de valor con respecto a la calidad de su función y ejecución, a través de una información con personas expertas.

### **3.3.1 Establecimiento de la calidad de diseño y la calidad planificada**

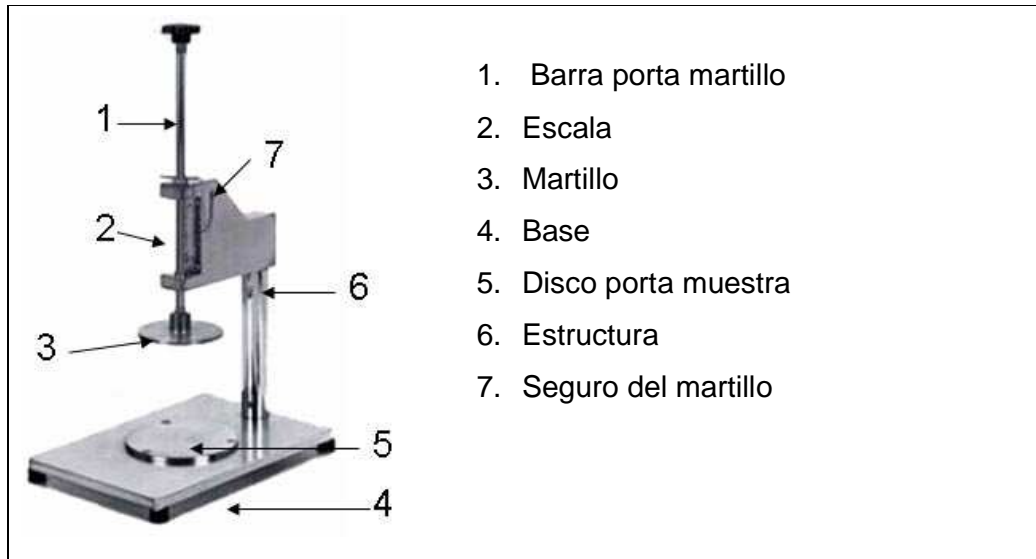
#### **a.- Nombrar a un grupo de personas para el análisis de valores y controlar sus progresos.**

Para evitar conflictos, la responsabilidad del análisis de valores se limita al hacer el nombramiento de estas personas, ya que el método depende de la combinación de un nuevo metalenguaje con la experiencia existente de los directores, los cuales han aprendido en combinación con sus especialidades y experiencias.

Es por eso que para la aplicación de esta metodología se obtuvo la ayuda de los directores de tesis: Marla Berenice Hernández Hernández, y Víctor M. Cruz Martínez.

#### **b.- Establecer el análisis de valor definido con respecto a la calidad de su función y ejecución del producto.**

En este punto se deberán tener presente las funciones del producto, no las formas o procesos, considerando cuál es la función de cada parte y cómo cada una contribuye a la función principal del artículo. La definición de función debe ser categórica para que no existan dudas acerca de la función principal del elemento. A continuación se muestra la pieza a rediseñar (Fig.9)



**Figura 9. Plasticímetro de Pfefferkorn y sus componentes**

### **3.3.2 Acumulación y análisis de información sobre la función del plasticímetro.**

- a) ¿Qué es? Un instrumento para realizar pruebas.
- b) ¿Para qué sirve? Para obtener un valor cuantitativo acerca de la plasticidad de arcillas.
- c) ¿Cuál es su función principal? Medir la plasticidad de la muestra a analizar.
- d) ¿Cuál es el método, el material o el procedimiento usado para realizar la función principal? Este método está basado en el principio que la plasticidad de las arcillas, se puede determinar al relacionar la compresión y la deformación de muestras cilíndricas, el material y procedimiento usado ya se mencionaron anteriormente.
- e) ¿Cuáles son las funciones secundarias correspondientes? Asociar el resultado obtenido con el grado de facilidad de moldeado de las arcillas.

- f) ¿Cuál es el método, o el procedimiento usado para realizar la función secundaria? Al ejecutar el usuario, el botón de seguridad del porta martillo.

### **3.3.3 Comunicación a procesos posteriores de información relacionada con la función**

La acumulación y análisis de información sobre la función del plasticímetro, nos permite incluir algunas técnicas, estas ayudan a implementar y mejorar la metodología, por lo que se utilizará como apoyo en esta aplicación del rediseño, la técnica del análisis de valor, la cual permite elegir la mejor opción analizando el valor en cuestión a su función.

### **3.3.4 Etapa y aplicación de la técnica de análisis de valor por cada componente del producto.**

La tabla 6 Proporciona un valor ya sea principal o secundario del producto, donde se asigna a través de un análisis de funcionalidad y valor del instrumento. Es por eso que se asignan los siguientes puntos otorgando su jerarquía.



**Tabla 6. Análisis de valor por cada componente del producto**

No.	Elemento del plasticímetro A	Elemento del plasticímetro B	Funciones	Principal	Secundaria
1	Barra porta martillo	Barra porta martillo	- Esta unido con el martillo del instrumento.	*	
2	Escala	Escala	- Lectura de datos.	*	
3	Martillo	Martillo	- Acción sobre la muestra.	*	
4	Base	Base	- Sostiene y esta unido con la parte de dicho porta muestra y la estructura. - Dar un soporte a la estructura y sobre ella se coloca la muestra.		*
5	Disco porta muestra	No tiene	- Colocación del material a medir. - Resistir la carga del determinado peso.		*
6	Estructura	Estructura	- Sostiene la barra porta peso, la escala y el peso - Asegura la rigidez mecánica de toda la pieza en unión con la base.	*	
7	Seguro del martillo	Seguro del martillo	- Asegura el martillo con la estructura del producto.		*

La tabla 7 Asigna el valor en cuanto a su función. Esta tabla sirve de ayuda para hacer las comparaciones del análisis de valor que se realizaran en las tablas 7.1, 7.2 y 7.3.

**Tabla 7. Asignación de valores en función de cada componente del producto**

Comparación	Puntos
Poco básico	1
Básico	2
Muy básico	3

Las tablas 7.1, 7.2, y 7.3 decretan el valor que tiene cada función sobre el costo de cada uno de los elementos. Un ejemplo de este análisis, (tabla 7.1) es de que se compara la unión que tiene el instrumento con la barra porta martillo (A) y la escala(B) en este caso la escala tiene mayor prioridad y se le asigna un valor de acuerdo ala tabla 7, que según esta nos dice que es muy básico asignando el valor 3, es por eso, que en el primer cuadro de la escala y la unión del martillo tenemos B3, de esta manera, se muestra el mayor valor de función que se le da a la escala.

Otro ejemplo (tabla 7.1) sería el cuadro que hay entre la base (D) y la acción sobre la muestra (C) como se puede observar el valor que tiene esta es C3, otorgando de ésta manera, mayor valor en relación a su función a la acción que hay sobre la muestra (C) y el puntaje corresponde a muy básico (3).

La función del porcentaje (%) se le asigna una vez que se conocen cada una de las funciones del instrumento, y este valor se va determinando con la ayuda de los expertos.

El costo real es la sumatoria, un ejemplo de ello lo tenemos en la tabla 7.1 donde se suman todas las letras A, en este tenemos A2, A2, A1 por lo que al sumarlo nos da 5.

Por ultimo, el peso total en %, se divide el costo real, entre el coste total de los elementos, ejemplo (tabla 7.1) donde  $5/47= 10.6\%$ ,  $12/47=25.5\%$ .

**Tabla. 7.1 Valor en cuestión a su función y costo del producto**

	A	B	C	D	E	F	G			
<b>Función</b>	<b>Función %</b>	<b>Barra porta martillo</b>	<b>Escala</b>	<b>Martillo</b>	<b>Base</b>	<b>Disco portamuestra</b>	<b>Estructura</b>	<b>Seguro del martillo</b>	<b>Coste Real</b>	<b>Peso total %</b>
<b>A.-</b> Esta unido con el martillo del instrumento.	<b>13 %</b>		<b>B3</b>	<b>C3</b>	<b>A2</b>	<b>A2</b>	<b>F2</b>	<b>A1</b>	<b>5</b>	<b>10.6 %</b>
<b>B.-</b> Lectura de datos.	<b>45 %</b>			<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B2</b>	<b>F3</b>	<b>B2</b>	<b>12</b>	<b>25.5 %</b>
<b>C.-</b> Acción sobre la muestra.	<b>25 %</b>				<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>F3</b>	<b>C2</b>	<b>11</b>	<b>23.4 %</b>
<b>D.-</b> Sostiene y esta unido con la parte de dicoportamuestra y la estructura. - Dar un soporte a la estructura y sobre ella se coloca la muestra.	<b>4 %</b>					<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D2</b>	<b>5</b>	<b>10.6 %</b>
<b>E.-</b> Colocación del material a medir. - Resistir la carga del determinado peso.	<b>2 %</b>						<b>F2</b>	<b>E2</b>	<b>2</b>	<b>4.25 %</b>
<b>F.-</b> sostiene la Barra porta peso, la escala y el peso - Asegura la rigidez mecanica de toda la pieza en unión con la base.	<b>10 %</b>							<b>F2</b>	<b>12</b>	<b>25.5 %</b>
<b>G.-</b> asegura el martillo con la estructura del producto	<b>1 %</b>								<b>0</b>	<b>0 %</b>
<b>Total de los elementos</b>	<b>100%</b>									
Coste de elementos afectados por funciones							<b>12</b>			
Coste de elementos no afectados por funciones			<b>0</b>							
<b>Coste totales de los elementos</b>									<b>47</b>	



**Tabla. 7.3 Valor en cuestión a su función y costo del producto**

	A	B	C	D	E	F	G			
<b>Función</b>	<b>Función %</b>	<b>Barra porta martillo</b>	<b>Escala</b>	<b>Martillo</b>	<b>Base</b>	<b>Disco portamuestra</b>	<b>Estructura</b>	<b>Seguro del martillo</b>	<b>Coste Real</b>	<b>Peso total %</b>
<b>A.-</b> Esta unido con el martillo del instrumento.	<b>10 %</b>		<b>B3</b>	<b>C3</b>	<b>A2</b>	<b>A2</b>	<b>F2</b>	<b>A1</b>	<b>5</b>	<b>10.6 %</b>
<b>B.-</b> Lectura de datos.	<b>40 %</b>			<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B2</b>	<b>F3</b>	<b>B2</b>	<b>12</b>	<b>25.5 %</b>
<b>C.-</b> Acción sobre la muestra.	<b>25 %</b>				<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>F3</b>	<b>C2</b>	<b>11</b>	<b>23.4 %</b>
<b>D.-</b> Sostiene y esta unido con la parte de dicoportamuestra y la estructura. - Dar un soporte a la estructura y sobre ella se coloca la muestra.	<b>6%</b>					<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D2</b>	<b>5</b>	<b>10.6 %</b>
<b>E.-</b> Colocación del material a medir. - Resistir la carga del determinado peso.	<b>3 %</b>						<b>F2</b>	<b>E2</b>	<b>2</b>	<b>4.25 %</b>
<b>F.-</b> sostiene la Barra porta peso, la escala y el peso - Asegura la rigidez mecanica de toda la pieza en unión con la base.	<b>15 %</b>							<b>F2</b>	<b>12</b>	<b>25.5 %</b>
<b>G.-</b> asegura el martillo con la estructura del producto	<b>1 %</b>								<b>0</b>	<b>0 %</b>
Total de los elementos	<b>100%</b>									
Coste de elementos afectados por funciones							<b>12</b>			
Coste de elementos no afectados por funciones			<b>0</b>							
Coste totales de los elementos									<b>47</b>	

### 3.3.5 Proceso en la reducción de números de cambios en el diseño o modificación de los elementos

La tabla 8 indica la función general y el índice de valor que tiene el producto, de acuerdo a los análisis de función y valor que se obtuvieron en las tablas 7.1, 7.2 y 7.3. Un ejemplo sería la (tabla 7.1) donde la función, que en este caso se le asigno un valor de 13%, ésta, se divide entre el peso total de la barra del porta martillo (A) donde el valor corresponde a 10.6%, al dividir esto se obtiene el valor total.  $V=1.22$

**Tabla 8. Valor que tiene cada función del componente**

<b>Elemento</b>	<b>V= F/C Tabla. 7.1</b>	<b>V= F/C Tabla. 7.2</b>	<b>V= F/C Tabla. 7.3</b>	<b>TOTAL</b>
Barra porta martillo	1.22	1.41	0.94	3.57
Escala	1.76	1.96	1.56	5.28
Martillo	1.06	0.85	1.06	2.97
Base	0.37	0.37	0.56	1.30
Disco porta muestra	0.47	0.47	0.70	1.64
Estructura	0.39	0.31	0.58	1.28
Seguro del martillo	0	0	0	0

De acuerdo a la tabla 8, los resultados obtenidos en función y valor del instrumento nos dice la jerarquía de funciones, del plasticímetro de Pfefferkorn. Se retomaron los elementos del producto analizado respecto a la función. Una vez obtenida la ponderación de funciones, se determinaron las de mayor prioridad:

1. Escala
2. Barra porta martillo
3. Martillo
4. Disco porta muestra
5. Base
6. Estructura
7. Seguro del martillo

Al realizar el análisis de cada una de las funciones se llegó a lo siguiente:

- 1) Para realizar la función de medir la plasticidad de las arcillas, los elementos con mayor prioridad fueron la escala, la barra porta martillo y el martillo
- 2) Posteriormente le sigue el disco porta muestra, la base y la estructura como función secundaria del producto.
- 3) El seguro del martillo puede no ir integrado o incluso modificarlo ya que no presenta la prioridad de función en el producto.

Finalmente cada uno de los elementos que integran el plasticímetro de Pfefferkorn se consideran, en cada una de las funciones que pueden ser más útiles y efectivas. Se parte ahora en base a diversos fundamentos para determinar los requerimientos con los que debe cumplir el plasticímetro de Pfefferkorn.

### **3.3.6 Clasificación de los requerimientos por su cumplimiento**

Gracias al proceso de análisis anterior de cada uno de los instrumentos, se determinan los requerimientos de diseño. Estos se traducen en funciones técnicas que se evalúan en base a los resultados obtenidos. Así como variables que limitan las alternativas de solucionar los productos, estas variables deben cumplir una solución cuantitativa y cualitativa, siendo fijadas previamente por una decisión del solucionador del problema.<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> Rodríguez M. Gerardo, "Manual de diseño industrial, metodología para el desarrollo de proyectos de diseño industrial", UAM-A, p. 32,34

### **Requerimientos Obligatorios**

Son aquellos que deben cumplirse en todos los casos; es decir, aquellos cuyo cumplimiento es necesario para que la solución sea aceptada.<sup>22</sup>

### **Requerimientos deseados**

Son aquellos que en lo posible deben ser cumplidos, propiedades que conlleva su aspecto para su aplicación, trabajo o servicio determinado. Es por eso que se asignan los siguientes requerimientos otorgando su jerarquía.

- Practicidad
- Seguridad
- Ergonomía
- Transportable
- Mantenimiento
- Reparación
- Manual

### **Requerimientos de función**

Son aquellos que por su contenido se refieren a los principios físico-químico-técnicos de funcionamiento de un producto.

- Mecanismo
- Confiabilidad
- Resistente
- Acabado
- Desmontable

### **Requerimientos estructurales**

Son aquellos que por su contenido se refieren a los componentes, elementos y partes que integran el mecanismo del producto. Donde la cualidad de un producto nos permite modificar sus características que lo hacen funcional y atractivo.

---

<sup>22</sup> Ítem 21



- Ligero
- Carcasa
- Peso
- materiales.

### **3.3.6.1 Análisis de los requerimientos**

La tabla 9 muestra los tres tipos de requerimientos establecidos a ser cumplidos por el concepto que se busca, sin embargo este producto ya fabricado y puesto al mercado en venta, no cumplirá en su mayoría con todos, esto ayudará, a que las propuestas de diseño del plasticímetro de Pfefferkorn que se requiere cumplir, sea mejor. Se muestra la posición, bueno, regular y malo, al marcar con una X algunas de estas tres opciones, se definirá el grado de cumplimiento del requerimiento.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> Ítem 21

**Tabla 9 Análisis de los requerimientos de uso, función y estructurales del plasticímetro de Pfefferkorn elaborado por la empresa Gabbrielli**

Plasticímetro de Pfefferkorn				Tipo de mecanismo
Requerimientos de uso	Bueno	Regular	Malo	
Practicidad	X			Sencillo de usar al realizar las pruebas.
Seguridad			X	No cuenta con algún elemento o mecanismo que ponga en riesgo al usuario, sin embargo debido a su peso es importante que sea bien sujetado al momento de usarse.
Ergonomía		X		Resulta tener las medidas adecuadas en cuanto a la antropometría.
Transportable			X	Resulta fácil de transportarlo por su tamaño, dependiendo del material y peso.
Mantenimiento		X		Solo requiere de mantenerse limpio.
Reparación			X	De manera que si sufre alguna falla hay manera de repararlo. Pero resulta difícil encontrar alguna pieza en el mercado
Manual		X		Cuenta con una información de cómo usarse.
<b>Requerimientos función</b>				
Mecanismo		X		Cuenta con un mecanismo sencillo.
Confiabilidad		X		Resulta visualmente confiable debido al tamaño.
Resistente	X			Es resistente pero depende del material, puede ser metal u otros.
Acabado	X			Por lo general es regular, pues siempre existen problemas en la calidad de fabricación.
Desmontable		X		Resulta fácil de ser portátil para el usuario.
<b>Requerimientos estructurales</b>				
Ligero			X	Resulta ser ligero por el material con el que esta hecho. No pesa mucho.
Carcasa	X			Este depende del material, la carcasa resulta ser buena si el material es resistente y atractivo para el usuario.
Peso			X	Es ligero para el usuario.
Materiales	X			El material puede ser el adecuado si existen otras opciones o una mezcla de ellos para aligerar el peso.

### 3.4 Desarrollo de nuevos productos que proporcionaran un rediseño

Retomando cada uno de los requerimientos analizados con mayor prioridad de acuerdo a la tabla 9. Se proponen propuestas y a la seleccionada, se le aplicarán los requerimientos establecidos, estas deben cumplirse en el rediseño del producto. De acuerdo a la investigación y análisis de los requerimientos ya establecidos anteriormente en el proyecto, se llegó a la conclusión que el producto puede contar con nuevos materiales, nuevas formas, ser más ligero, brindar mayor seguridad al usuario, implementar nuevos mecanismos para su ejecución, facilitar su reparación y su funcionamiento.

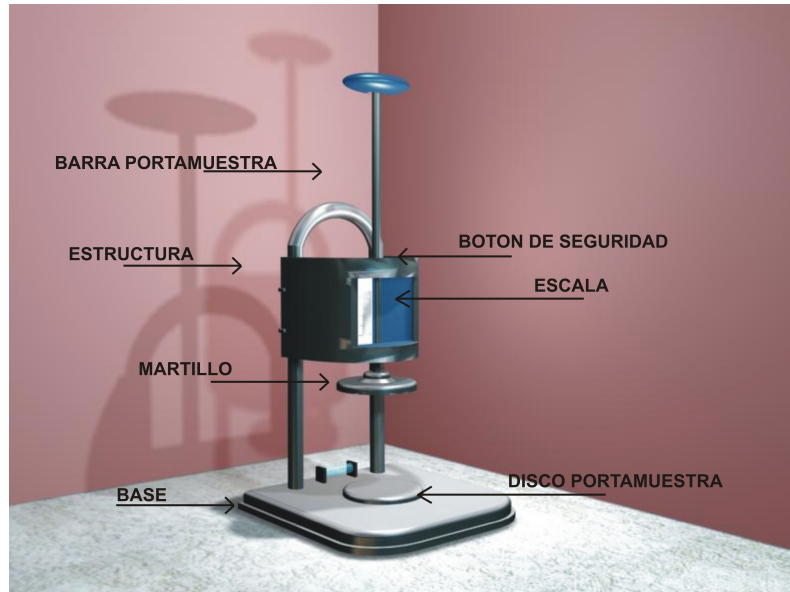
#### 3.4.1 Propuestas de diseño

##### **PRIMERA PROPUESTA**

La primera propuesta (fig.10), consiste en un prototipo que cuenta con las funciones y características establecidas por Pfefferkorn. Los materiales a utilizar en esta propuesta son: Acero dulce para la base del instrumento, tubo de ½" para la barra del porta martillo y de 1" para la estructura, lámina galvanizada para la base de la escala y plástico en la manija del porta martillo.



**Figura 10. Primera propuesta del prototipo**



**Figura 11. Partes con la que cuenta la propuesta 1**

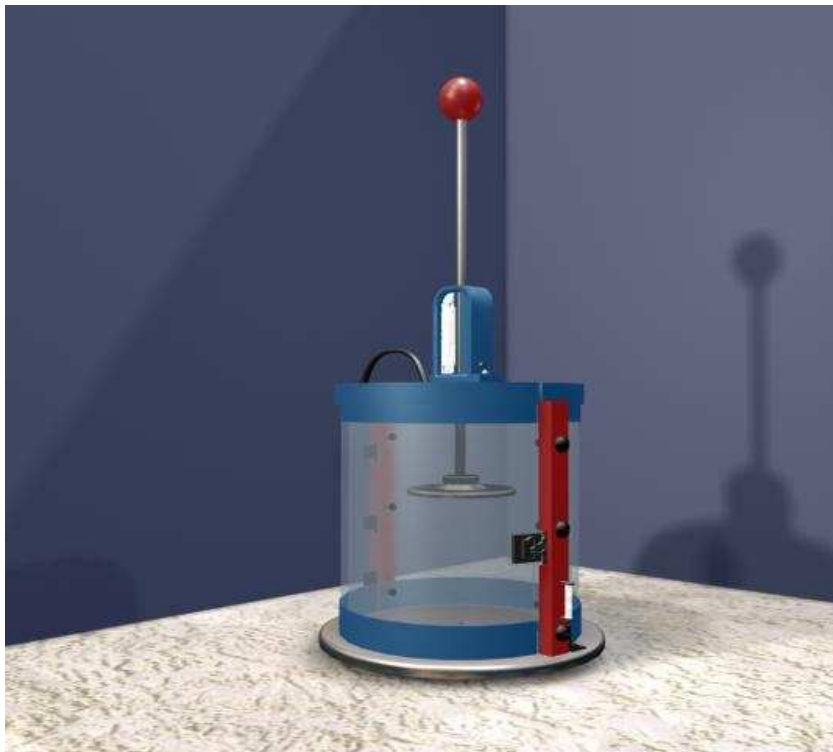


**Figura 12. Función con la que cuenta la propuesta 1**

## **SEGUNDA PROPUESTA**

La segunda propuesta (fig.13), consiste en un prototipo en el cual se utilizan materiales como: Acero dulce para la base, tubo de ½" para la barra del porta martillo, Acrílico de 6 mm. y 19 mm.

El producto debe ser rígido, estable y ligero, se propone que la mayor parte del material de fabricación sea de plástico, en este caso la base estructural consiste que el acrílico sea de 6mm. de espesor. Para que el martillo cumpla con los requisitos estándares de masa, se necesita un material más denso, como por ejemplo, fierro dulce o acero dulce. Algunos de estos materiales y componentes como la manija de la puerta del instrumento, la barra porta martillo, así como bisagras y tornillos se encuentran en el mercado y pueden adquirirse con facilidad.



**Figura 13. Segunda propuesta del prototipo**

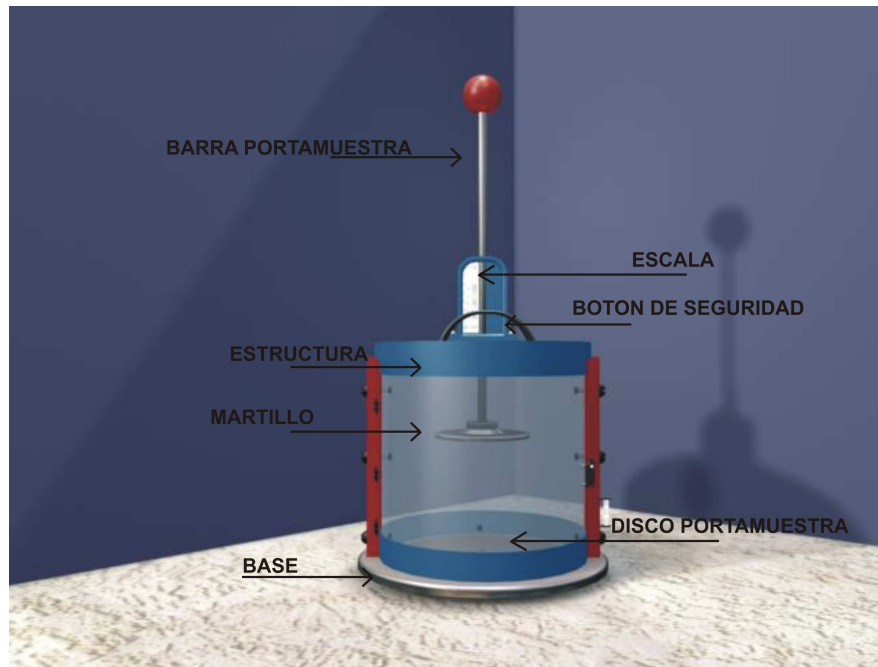


Figura 14. Partes con la que cuenta la propuesta 2

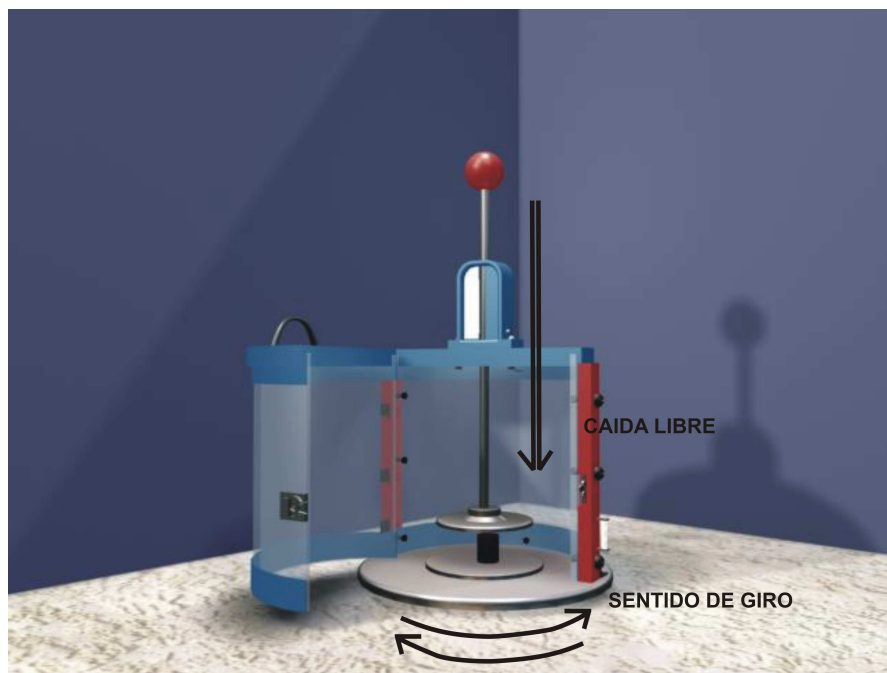
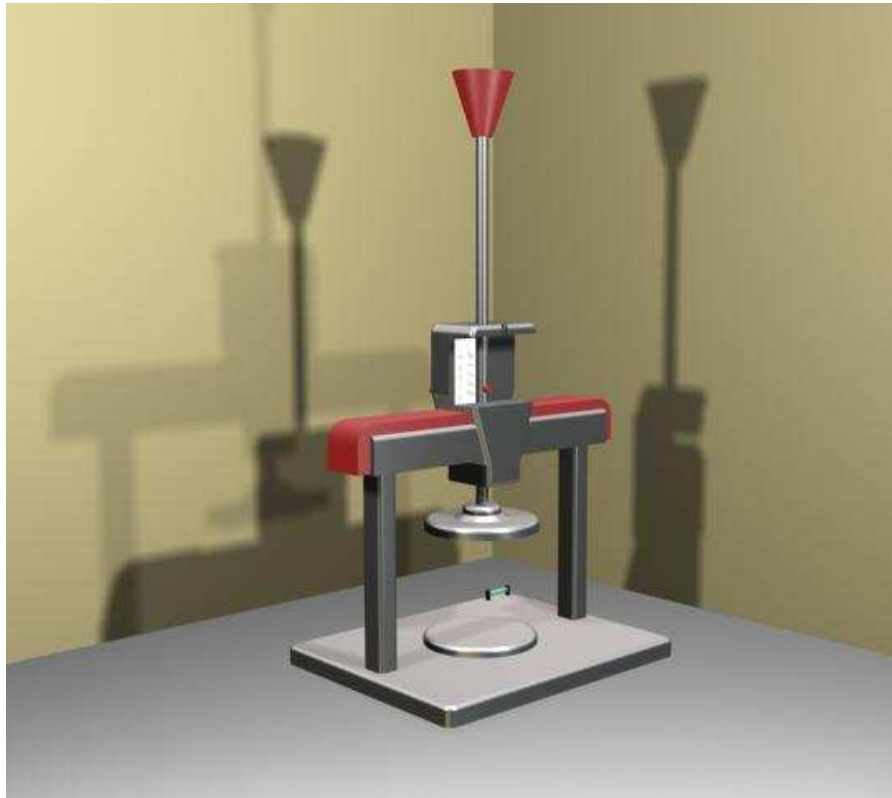


Figura 15. Función con la que cuenta la propuesta 2

### **TERCERA PROPUESTA**

La tercera propuesta (fig. 16), en ésta se pretende que la mayor parte del material, esté integrado por placas de acero dulce en la estructura de éste, también se propone acero en la base, y una menor parte de plástico como recubrimiento en las placas de la estructura, el tubo de  $\frac{1}{2}$ " estaría en la barra del porta martillo recubierto de plástico en la manija superior.

Otro de los materiales sería el tubular, éste estaría integrado en la parte estructural vertical del instrumento.



**Figura 16. Tercera propuesta del prototipo**

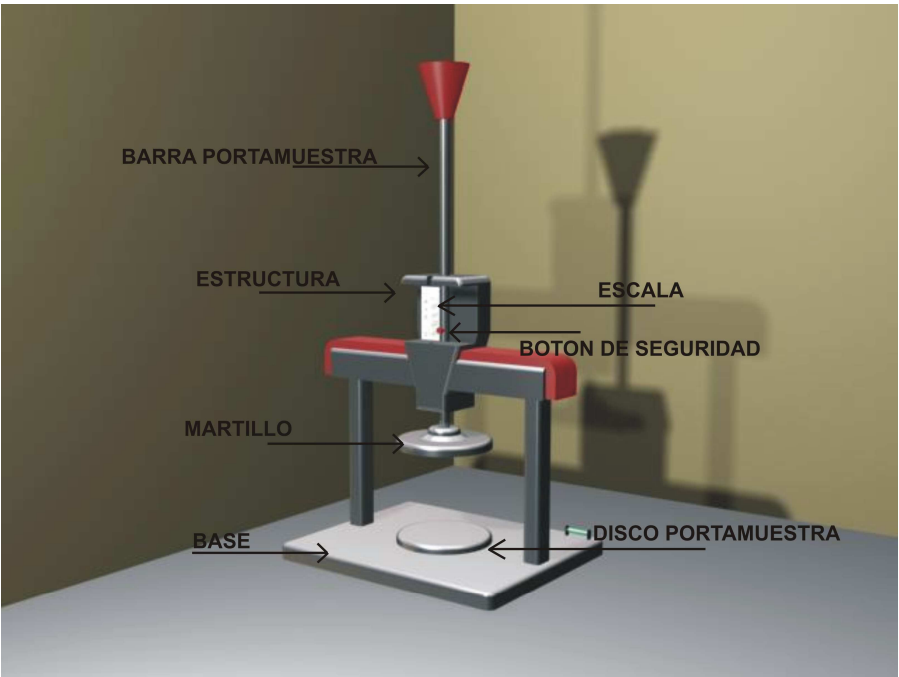


Figura 17. Partes con la que cuenta la propuesta 3

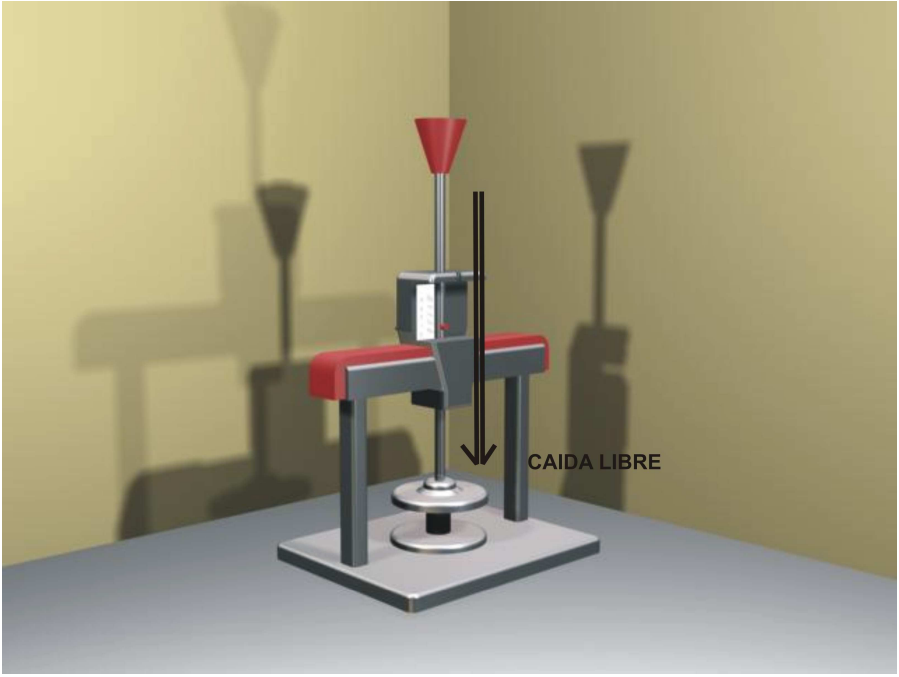


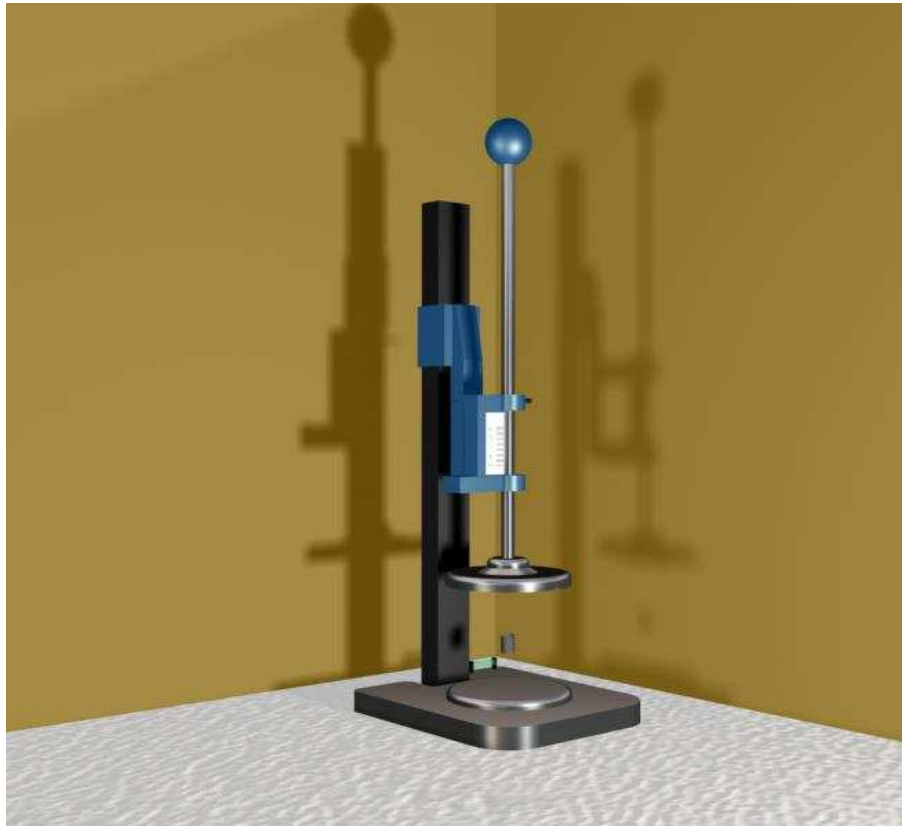
Figura 18. Función con la que cuenta la propuesta 3



## **CUARTA PROPUESTA**

En la cuarta propuesta (fig. 19) se pretende que el producto sea rígido, estable, ligero y con menor volumen en comparación a los anteriores. Esta propuesta se hace con la finalidad de utilizar un mínimo de material y facilitar la elaboración del plasticímetro.

Los materiales a utilizar en ésta propuesta, en su mayoría corresponden a los polímeros, ya que estos son bastante ligeros y fáciles de maquinar a diferencia del acero dulce, una menor parte de este último, se propone en la base donde se colocan las muestras y en el martillo, algunos otros elementos con los que cuenta esta propuesta, como ya se mencionó anteriormente, son fáciles de adquirir.



**Figura 19. Cuarta propuesta del prototipo**

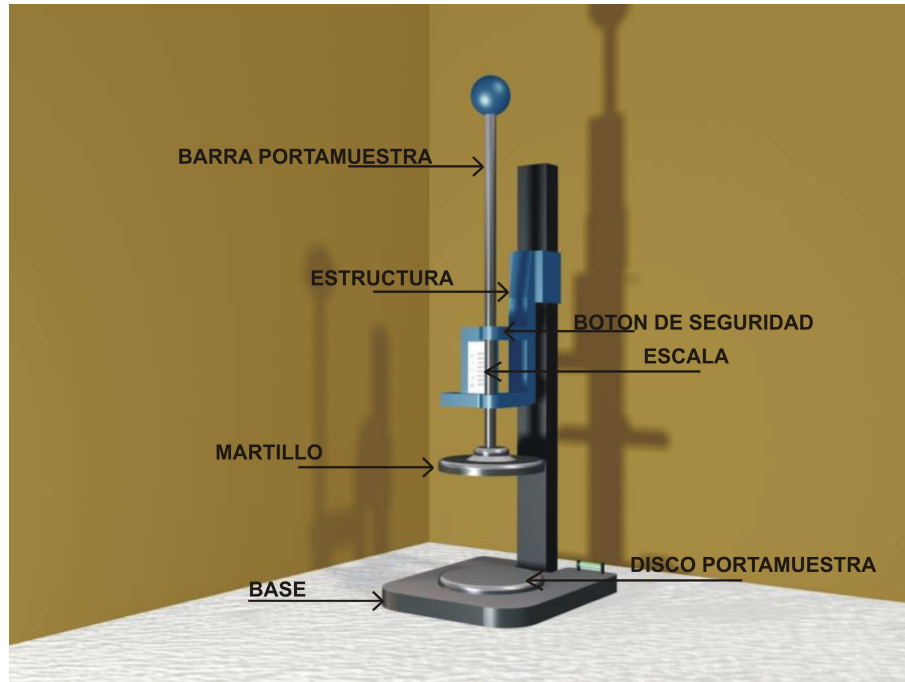


Figura 20. Partes con la que cuenta la propuesta 4

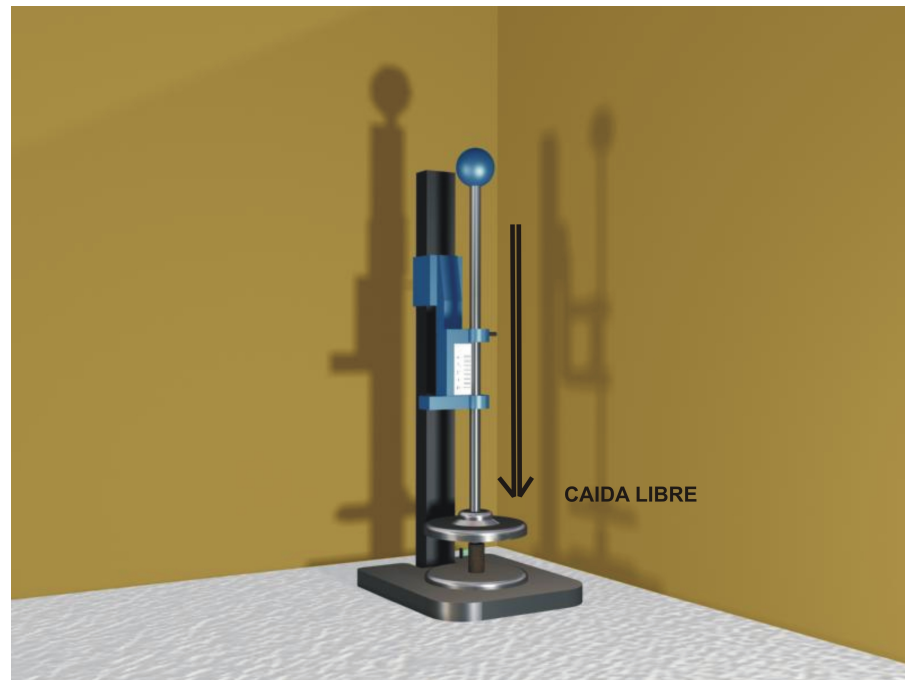


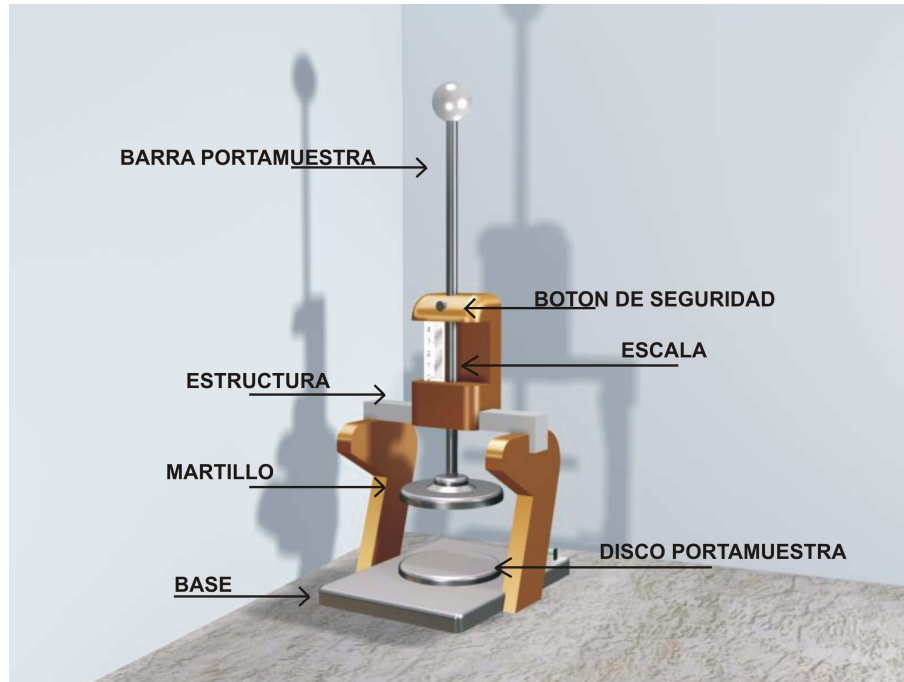
Figura 21. Función con la que cuenta la propuesta 4

## **QUINTA PROPUESTA**

Como quinta propuesta (fig. 22) se pretende en ésta, que el producto sea rígido y ligero presentando en su mayor parte de polímeros como lo sería la parte estructural y la escala donde se obtiene la lectura de la deformación de las probetas, en la base de la estructura se propone que tenga un riel para poder jalarla una vez realizada la operación, en ésta base y la del martillo se propone el acero dulce.



**Figura 22. Quinta propuesta del prototipo**



**Figura 23. Partes con la que cuenta la propuesta 5**



**Figura 24. Función con la que cuenta la propuesta 5**

## **SEXTA PROPUESTA**

En esta última propuesta (fig. 25) se pretende que el producto sea fácil de usar, además su proceso de elaboración sería muy fácil y rápido, ya que en su mayoría en esta ultima propuesta los materiales con los que cuenta en la estructura son altamente comercializados, estos materiales serían los tubos de 1", ½", ¾".

La base estaría hecha de acero dulce al igual que el martillo, la parte plástica estaría hecha donde va estar la escala y la manija del porta martillo.

Finalmente en todas las propuestas se realizó una mezcla de los materiales para aligerar el peso e incrementar la estética en éste.



**Figura 25. Sexta propuesta del prototipo**

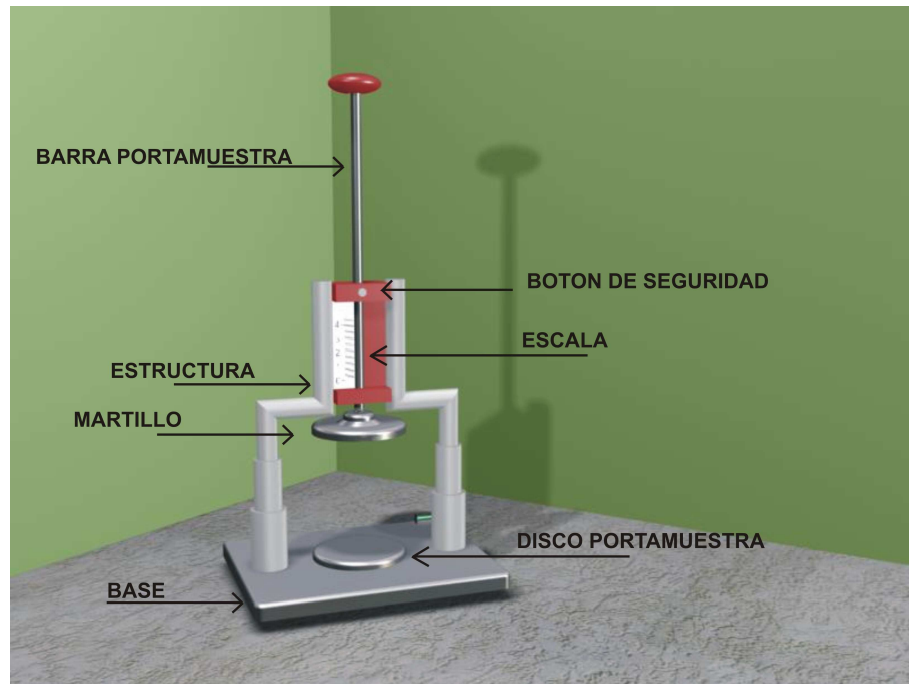


Figura 26. Partes con la que cuenta la propuesta 6



Figura 27. Función con la que cuenta la propuesta 6

### 3.5 Análisis y selección de las propuestas

Ya mostradas cada una de las propuestas fue necesario someterlas a un análisis de funciones. Se calificó cada una de las formas, materiales y características funcionales.

A continuación se muestra en la tabla 10 los atributos importantes de las nuevas propuestas y sus pesos. Cada propuesta es evaluada ya que debe recibir una puntuación en una escala del 0 a 5 para cada una de estas.

**Tabla 10. Comparación para análisis y selección**

Comparación	Puntos
malo	1
regular	2
esencial	3
bueno	4
excelente	5

**Tabla 11. Valoración en función a sus tributos**

Atributo del producto	peso	PROPUESTA 1		PROPUESTA 2		PROPUESTA 3		PROPUESTA 4		PROPUESTA 5		PROPUESTA 6	
	P	valoración	PxV	valoración	PxV	valoración	PxV	valoración	PxV	valoración	PxV	valoración	PxV
capacidad	35	2	70	5	175	3	105	2	70	5	175	2	70
calidad de diseño	15	5	75	2	30	4	60	2	30	3	45	2	30
materiales	10	3	30	3	30	2	20	2	20	2	20	2	20
costo de producción	40	3	120	4	160	3	120	3	120	2	80	4	160
total	100		295		395		305		240		320		280







En la tabla 11 se muestran todas las propuestas. A cada una de ellas se le asigna un valor en función a sus atributos del producto, así como también su peso en cuestión a su valor. Por lo que en la segunda columna (PxV) se calcula el producto del peso y de la valoración o puntuación; finalmente todos estos productos se suman en la línea inferior (casilla total). La suma mayor indica la mejor alternativa.

La propuesta que tuvo la mayor puntuación fue la 2, pues cuenta con las funciones requeridas y a simple vista se puede observar que exhibe una mejor estética, forma, y mezcla de materiales, así como una ligereza en el producto, manteniendo las características funcionales, además el proceso de elaboración es el más eficaz, y los materiales a utilizar son de fácil acceso.

La confrontación arrojó como resultado, que el boceto 2 (tabla 12) cumple con gran parte de los requerimientos, ya que este presenta un puntaje mayor y a simple vista se observa que cuenta con mayor estética, ligereza y una mayor rigidez por su estructura.



**Tabla 12. Tabla de resultado de cada propuesta**

BOCETO	IMAGEN	PUNTAJE FINAL
1		295
2		395 PROPUESTA GANADORA
3		305
4		240
5		320
6		280

### 3.5.1 Análisis de los requerimientos en la propuesta seleccionada

Una vez seleccionada la propuesta, es necesario someterla a un análisis de requerimientos ya establecidos anteriormente, en la tabla 9 se calificó cada uno de estos requerimientos del plasticímetro de Pfefferkorn, elaborado por la empresa Gabrielli. Por lo que ahora se aplicará en esta propuesta seleccionada.

**Tabla 13 Análisis de los requerimientos de uso, función y estructurales del rediseño del plasticímetro de Pfefferkorn**

Plasticímetro de Pfefferkorn				Tipo de mecanismo
Requerimientos de uso	Bueno	Regular	Malo	
Practicidad	X			Sencillo de usar al realizar las pruebas.
Seguridad	X			No cuenta con algún elemento o mecanismo que ponga en riesgo al usuario, sin embargo debido a su peso es importante que sea bien sujetado al momento de usarse.
Ergonomía	X			Resulta tener las medidas adecuadas en cuanto a la antropometría.
Transportable	X			Resulta fácil de transportarlo por su tamaño, dependiendo del material y peso.
Mantenimiento		X		Solo requiere de mantenerse limpio.
Reparación	X			De manera que si sufre alguna falla hay manera de repararlo. Pero resulta difícil encontrar alguna pieza en el mercado
Manual	X			Cuenta con una información de cómo usarse.
Requerimientos de función				
Mecanismo	X			Cuenta con un mecanismo sencillo.
Confiabilidad		X		Resulta visualmente confiable debido al tamaño.
Resistente		X		Es resistente pero depende del material, puede ser metal u otros.
Acabado		X		Por lo general es regular, pues siempre existen problemas en la calidad de fabricación.
Desmontable		X		Resulta fácil de ser portátil para el usuario.
Requerimientos estructurales				
Ligero	X			Resulta ser ligero por el material con el que esta hecho. No pesa mucho.
Carcasa	X			Este depende del material, la carcasa resulta ser buena si el material es resistente y atractivo para el usuario.
Peso	X			Es ligero para el usuario.
Materiales	X			El material puede ser el adecuado si existen otras opciones o una mezcla de ellos para aligerar el peso.

En la tabla 13 se muestra el análisis que se realizó, de esta manera se muestran las ventajas del rediseño. Por lo que se establece un análisis y comparación de los materiales a utilizar, en este caso el acero que es uno de los materiales con los que cuenta el plasticímetro elaborado por Gabrielli, y los polímeros, que son los que se proponen a utilizar. Por lo que esta información es básica para la elaboración del prototipo.

### **3.5.2 Análisis de los materiales en la propuesta**

Es importante mencionar que esta sección en la fase de producción que corresponde a los requerimientos establecidos en el proyecto, la idea de presentar esto, es mostrar de una manera clara los materiales al ser aplicados en la producción del producto.

Por otro lado, dentro de los principales requerimientos de uso, y de función del producto, es que sea ligero y resistente por lo que la investigación se enfocó a estudiar los materiales que sean ligeros.

Dentro de los materiales ligeros se encontró a los polímeros por eso se investigó las características principales de estos, así como las ventajas que tienen con otros materiales. En este caso la propuesta seleccionada abarcó materiales como, el acero dulce cuya densidad es similar al del acero con el que está hecho el plasticímetro elaborado por Gabrielli, y los polímeros que en este caso se proponen en el rediseño del proyecto.

#### **3.5.2.1 Comparación de materiales para determinar las propiedades del diseño**

Fue necesario establecer algunas diferencias que hay entre ambos materiales, con el fin de comprobar las múltiples ventajas que se tienen con su uso y aplicación en el producto. Así como también sus propiedades, características y clasificación de ambos materiales de los polímeros y metal.

### 3.5.2.2 Plástico vs. Metal

El metal es uno de los materiales más usados ya que este proporciona rigidez, esto se debe a su alta densidad del mismo material.

Una de las ventajas que ofrecen los metales es la facilidad de fundir el material, maquinarse y rolar las piezas para obtener la forma deseada, así como resistir el agua o la corrosión. Los cinco mercados principales que atienden metales son: industria automotriz, construcción de tanques y equipo de manufactura para la industria farmacéutica. La tabla 14 nos muestra las características que tienen el plástico y el metal.<sup>24</sup>

**Tabla 14. Características del plástico y metal**

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>PLASTICO</b>	<b>METAL</b>
densidad	Baja	Alta
Precio	Bajo	Alto
Procesamiento	Fácil	Difícil
Corrosión	-----	Alta
Consumo de energía	Bajo	Alto
Flexibilidad	Alta y baja	Rígido
Transparencia	Alta y baja	Opaco
Conducción de electricidad	Aislante	Alta

Es importante mencionar que los resultados de algunas de estas características del plástico y metal que se muestran en la tabla 14, son de suma importancia para el desarrollo del prototipo, ya que ésta comparación determina las propiedades del rediseño y es por eso que se establece dentro de los requerimientos ya mencionados anteriormente.

---

<sup>24</sup> **Libro:** "Enciclopedia del plástico" 2a ed. Vol. I, II Ed. Grupo PINE, S.A de C.V. México.1999/2000.

### 4.1 Prototipo

El concepto que se busca en esta propuesta, está reflejado en la tabla 13, donde algunos requerimientos de su uso, funcionalidad y estructura, han sido cumplidos para la elaboración de esta propuesta seleccionada, en comparación al plasticímetro elaborado por la empresa Gabrielli, donde algunos de estos requerimientos no llegan a cumplirse del todo.



Figura 28. Propuesta seleccionada con molde

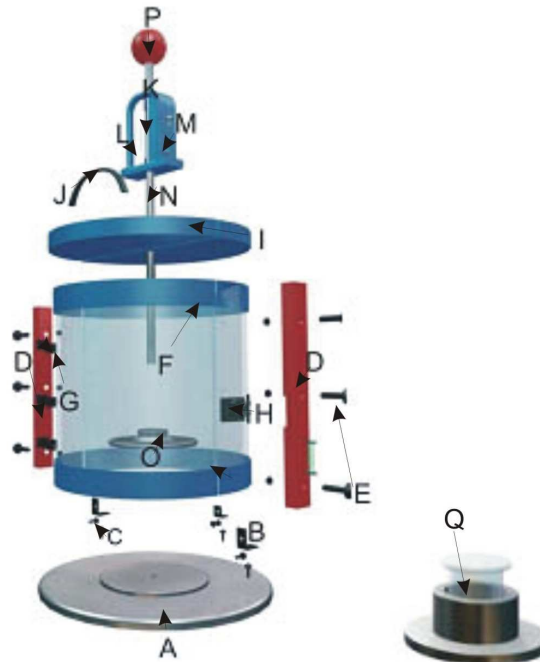
## 4.2 Desarrollo de la alternativa seleccionada

En esta sección, se inicia el desarrollo de la propuesta seleccionada, a través de técnicas de representación, con dibujos técnicos y dibujo asistido por computadora; de esta manera se pretende dar a conocer aspectos formales, funcionales, estructurales y de uso. Los cuales serán mostrados detalladamente.

En este desarrollo es necesario que se especifiquen los componentes del producto, ya que se podrá observar como se relacionan unos con otros. A continuación se muestra una tabla donde se especifican las partes de los componentes y mas adelante se muestra gráficamente su interrelación de estos. (Tabla 15).

**Tabla 15. Componentes del Producto.**

COMPONENTES DEL PRODUCTO
A. Base de Acero
B. Ángulos de 90°
C. Tornillos de 1/8"
D. Paredes rectangulares de acrílico
E. Tornillos de 1/4"
F. Base cilíndrica de acrílico de 6mm. de espesor
G. Bisagras con tornillos que están sujetas a la base cilíndrica
H. Seguro de la base cilíndrica que sirve para cerrar la base cilíndrica
I. Tapa de la base cilíndrica
J. Manija de la tapa
K Barra de acrílico con riel donde estará la escala
L. Escala de lectura en mm.
M. Tornillos con tuercas de 1/8" que sujetan a la barra con la base cilíndrica
N. Tubo de acero con riel sujeto al pistón o martillo
O. Base de acero del martillo
P. Bola de plástico sujeta al tubo de acero.
Q. Molde para arcilla



**Figura 29. Relación de los componentes del producto**

### 4.3 Planos técnicos

Después de mostrar los componentes del producto, se realiza la construcción de planos constructivos<sup>25</sup> de la propuesta elegida (Ver anexo 1). Estos fueron clasificados en base a la manera de cómo va a ser ensamblado (Tabla 16).

<sup>25</sup> Todos los planos se encuentran en la sección de anexos, para una mejor comprensión acerca del manejo de la información de cada parte integrada en el prototipo. En estos encontrarán todas las vistas del prototipo así como isométricos.

**Tabla 16. Planos técnicos de acuerdo al ensamblado del prototipo**

PLANOS TECNICOS
PT1. Base de Acero
PT2. Pared rectangular de acrílico derecho
PT3. Pared rectangular de acrílico izquierdo
PT4. Base cilíndrica de acrílico de 6mm. de espesor
PT5. Tapa de la base cilíndrica
PT6. Barra de acrílico con riel de la escala
PT7. Tubo de acero con riel sujeto al pistón o martillo
PT8. Base de acero del martillo

Los demás elementos que forman parte del ensamblado del prototipo, son altamente comercializados y de fácil acceso, como son:

- A. Ángulos de 90°
- B. Tornillos de 1/8" con tuercas
- C. Tornillos de 1/4" con tuercas
- D. tornillos de 1/2" con tuercas
- E. Bisagras pequeñas con tornillos que están sujetas a la base cilíndrica
- F. El seguro de la base cilíndrica que sirve para cerrar la base cilíndrica
- G. Manija de la tapa
- H. Tornillos con tuercas de 1/8" que sujetan a la barra con la base cilíndrica
- I. Bola de plástico sujeta al tubo de acero.



#### 4.4 Prototipo en 3D (Animación)

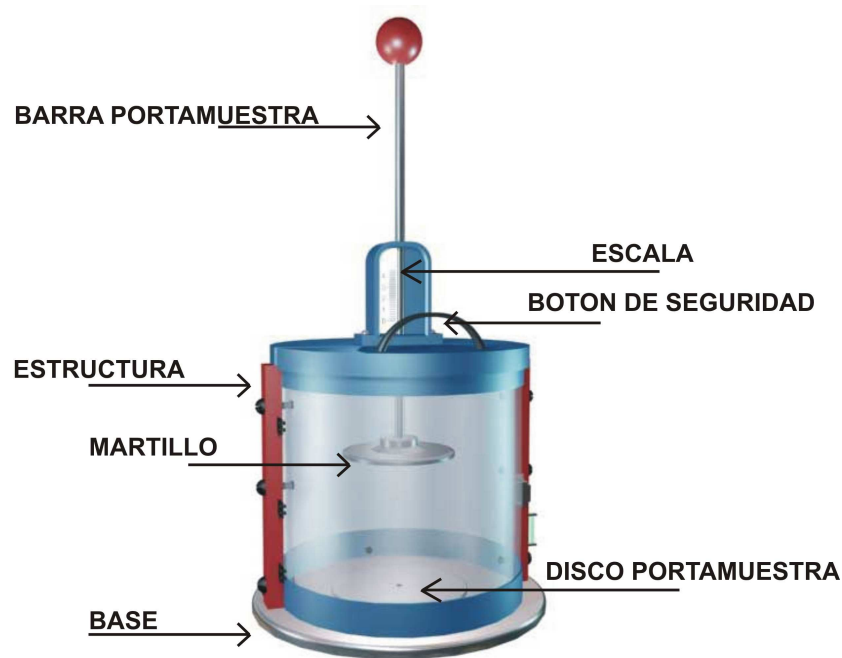
Una vez realizados los planos técnicos y debido a que elaborará el prototipo, se realizó una maqueta virtual y tridimensional, donde se utilizó software como: AutoCAD, Rhinoceros, 3D max, Poser, Macromedia Flash Mx, Adobe Photoshop y Adobe Premier Pro, entre otros. Para el proceso de maquinado, se utilizó específicamente software como: Solid Works, 3D Mechanical Design CAD/CAM y visiCAD CAD/CAM. Por lo tanto cada uno de estos programas ayudó a realizar el prototipo y la animación en donde se muestra más adelante cómo funciona el producto.

En la figura 30 se muestra el isométrico del plasticímetro, así como el molde donde se preparan las muestras.



**Figura 30. Isométrico del producto**

El prototipo cuenta con 6 componentes principales establecidos por Pfefferkorn los demás son partes establecidas y propuestas por el diseñador como lo son las manijas para poder abrir la puerta y colocar la muestra así como el botón del seguro. (fig.31)



**Figura 31. Partes con las que cuenta el prototipo seleccionado**

Para comenzar a utilizar el prototipo es necesario que este se encuentre en una superficie plana, rígida, y que ésta, tenga una altura lo suficiente cómoda para el usuario de tal manera que pueda accionarla de pie, la altura adecuada para ejecutar estas acciones van desde 50 a 65 cm. de altura.

A continuación se mostrarán los pasos a seguir para la utilización del nuevo prototipo, contemplando desde la preparación de la muestra, hasta obtener la medida final de ésta.

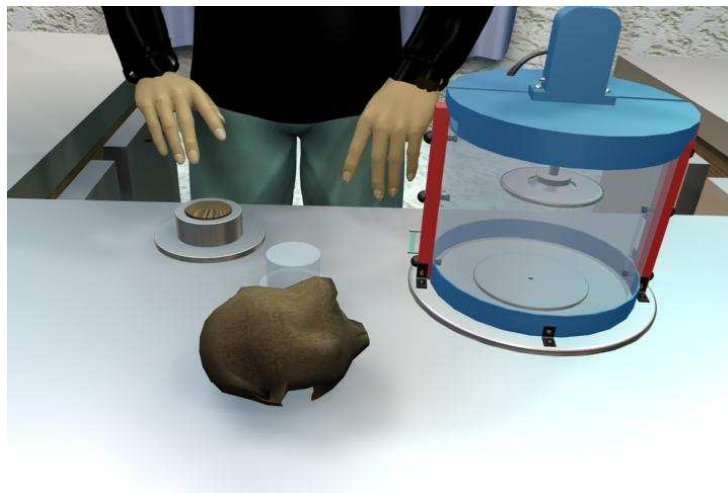
Los pasos son los siguientes:

1. Se prepara la arcilla con las manos, es importante mencionar que para la preparación, se contempla la medida del agua y de la arcilla, para una mejor moldeabilidad. (fig.32), y para evitar el pegado de la probeta al molde, se aplica un lubricante, este puede ser aceite de linaza ya que la adherencia de la pasta al metal, hace difícil su manejo y no permite determinar su humedad, por la pesadez que ocasiona dicha adherencia



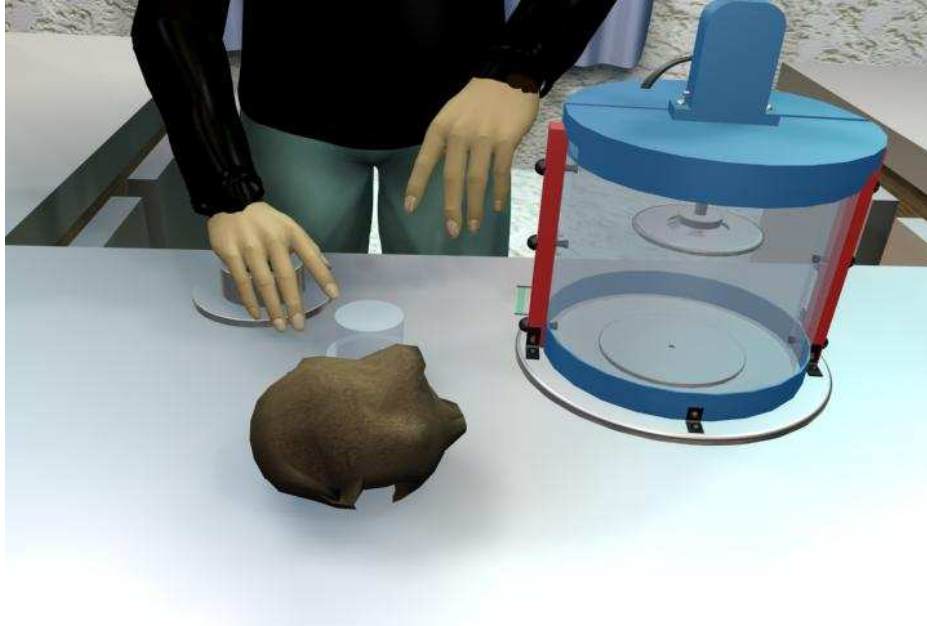
**Figura 32. Preparación de la muestra**

2. Una vez preparada la muestra arcilla-agua se toma de ésta, una cantidad de 60 gr. a 66 gr. y se coloca dentro del molde (fig. 33).



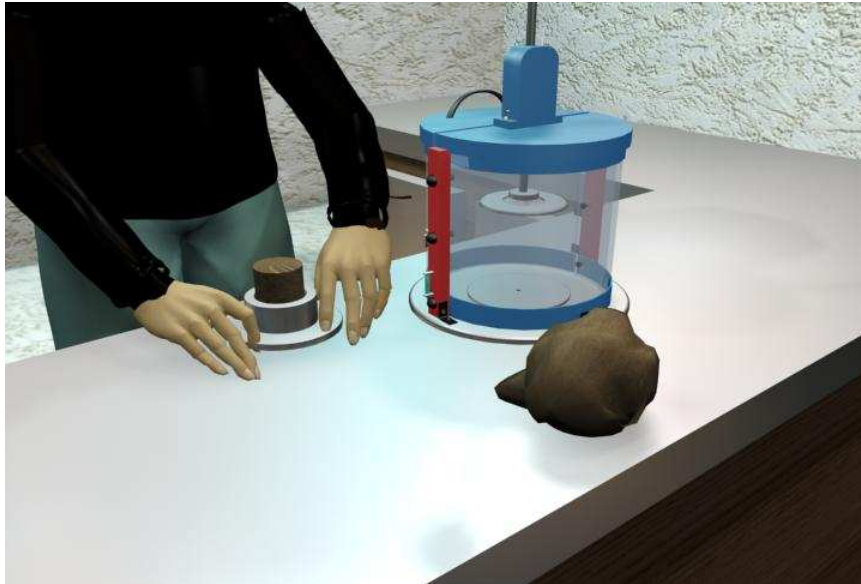
**Figura 33. Colocación de la muestra dentro del molde**

3. Posteriormente se presiona la muestra dentro del molde, esto con la finalidad de que no queden pequeñas burbujas de aire (fig. 34).



**Figura 34. Presionando la muestra dentro del molde**

4. Una vez realizada esta operación se saca del molde para ser colocada dentro del prototipo (fig. 35).



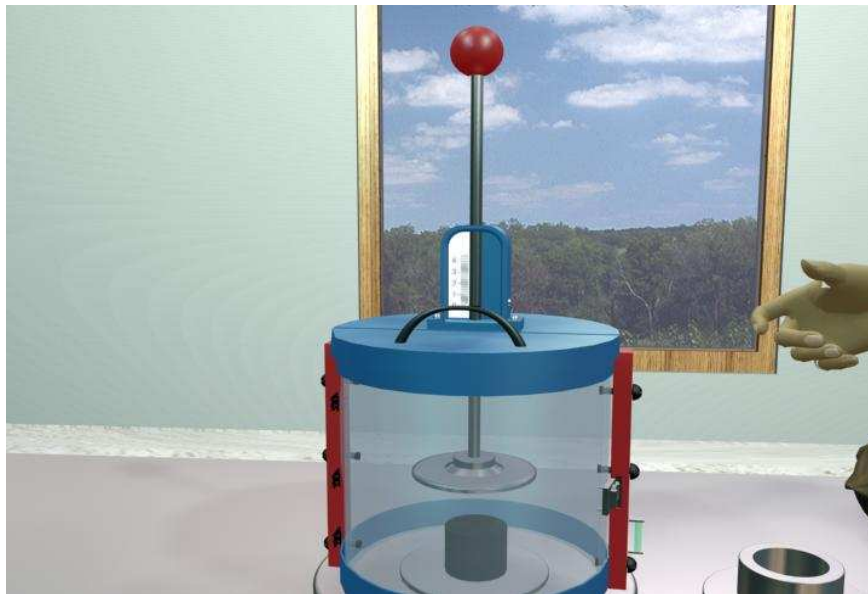
**Figura 35. Retirando la muestra del molde**

5. Se abre la puerta del prototipo a través de la manija con la mano izquierda y con la derecha se coloca la muestra (Fig. 36), es importante mencionar que el giro de la puerta se puede cambiar.



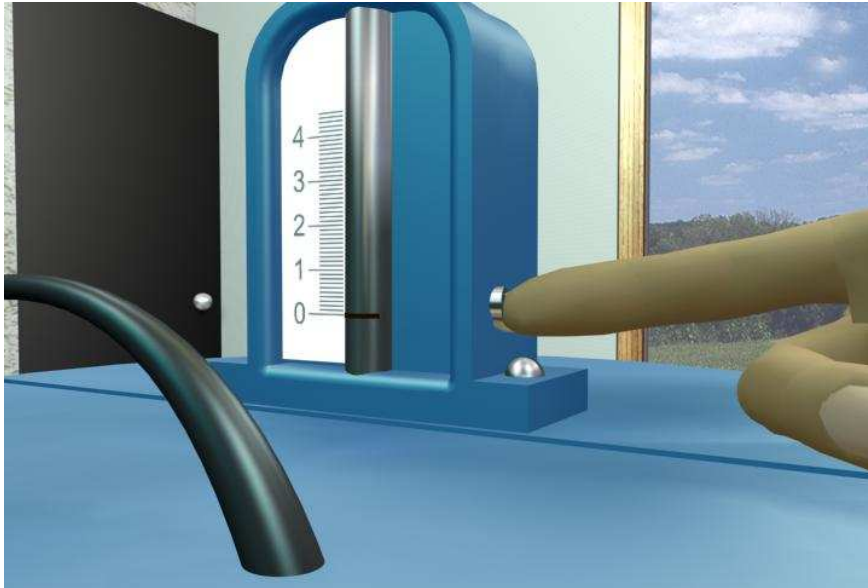
**Figura 36. Colocación de la muestra dentro del prototipo**

6. Una vez colocada la muestra dentro del prototipo se deja caer el martillo, este tiene una caída libre al ser activado el botón de seguridad. (fig. 37).



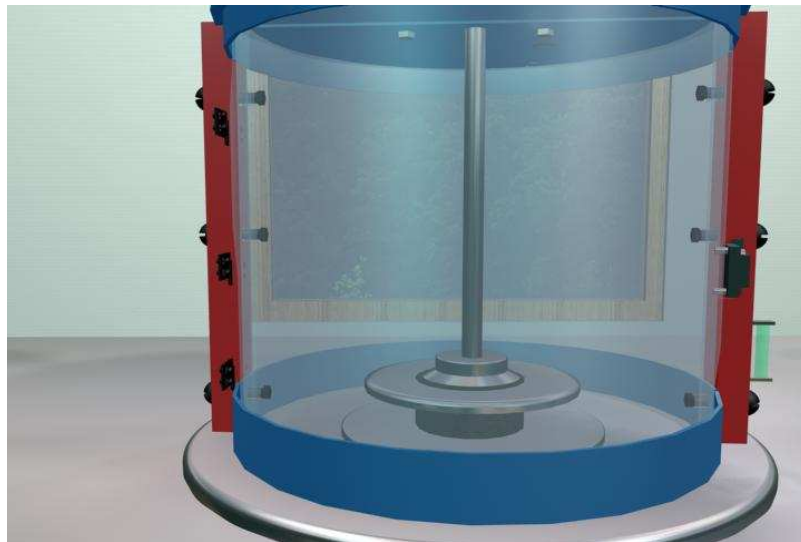
**Figura 37. Muestra colocada dentro del prototipo**

7. Se activa el seguro del botón para poder dejar caer la barra del porta martillo (fig. 38)



**Figura 38. Se activa el botón para dejar caer la barra porta martillo**

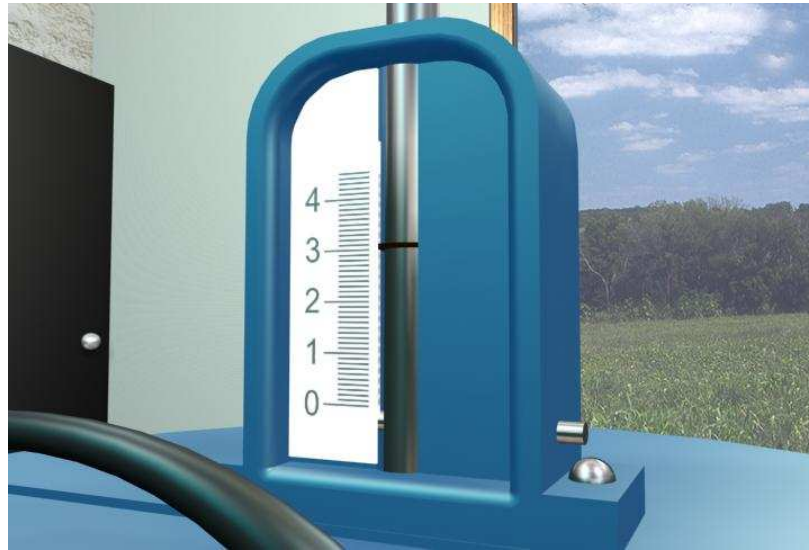
8. En esta imagen se podrá ver como la barra del porta martillo se deja caer a una altura determinada por Pfeifferkorn que es de 168mm. de altura, deformando la muestra (fig. 39).



**Figura 39. Aplastamiento de la muestra**



9. Una vez realizada esta operación, donde la barra porta martillo se deja caer y es aplastada, se observa en la lectura de la escala cual es la medida que esta muestra luego de obtener (fig. 40).



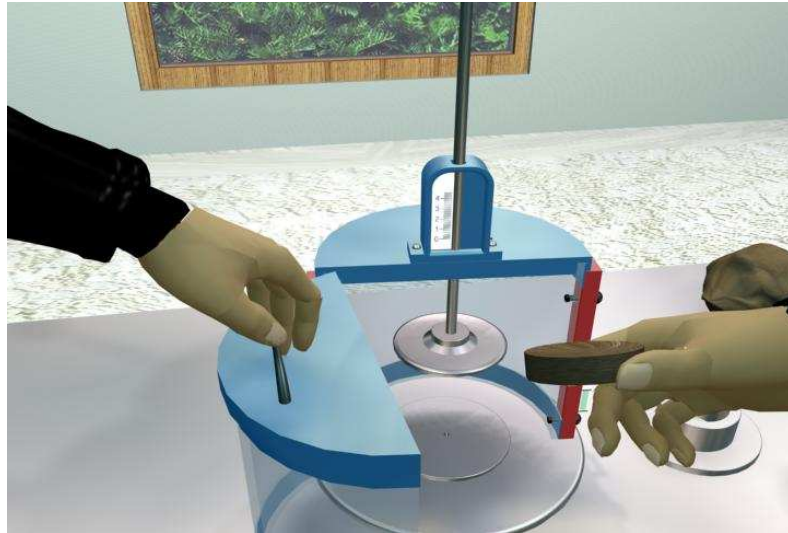
**Figura 40. Lectura de la escala**

10. La muestra es retirada del prototipo ya obteniendo la medida final de ésta, por lo que se levanta la barra del martillo a través de su manija (fig. 41).



**Figura 41. Levantamiento del martillo**

11. Una vez realizada esta acción, es retirada la muestra, y como se observa en esta imagen la muestra experimenta una contracción con respecto a su altura inicial. Se define con este fin, un factor de proporcionalidad entre la altura de la muestra antes y después del ensayo (fig. 42).



**Figura 42. Contracción de la muestra con respecto a su altura inicial.**

12. Por último una vez realizadas todas las operaciones, la muestra es valorada y analizada. Es importante mencionar que el giro que tiene la puerta se le dio para abrir con la mano izquierda (fig. 43), de tal manera que con la otra se coloque la muestra.



**Figura 43. Es cerrada la puerta del instrumento.**

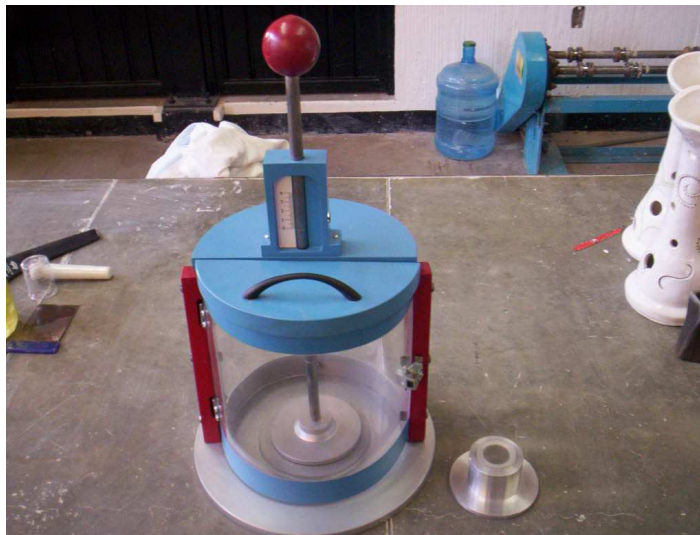


## V. PRESENTACIÓN DEL MODELO FUNCIONAL

---

En esta sección se muestra el desarrollo a través de imágenes del proceso de elaboración del prototipo. Es importante aclarar que el prototipo fue construido con los materiales que fueron propuestos y analizados en este documento, así como las medidas en tamaño y forma, tomando en cuenta y respetándose los planos constructivos.

En esta primera imagen se muestra el prototipo final en donde se puede observar su tamaño y forma (figura 44).



**Figura 44. Modelo funcional del prototipo**

## 5.1 Proceso de elaboración del prototipo

Este proceso de elaboración es de suma importancia, ya que en este contemplaremos de manera real; las dimensiones, el proceso de elaboración y maquinado. Por lo que se muestran a través de diagramas de flujo. Estos diagramas de flujo son una manera de representar visualmente a través de sistemas de tratamiento de información. Estos describen que operaciones y en que secuencia se requieren para solucionar un problema dado.<sup>26</sup>

### 5.1.1 Proceso de elaboración del martillo

Se muestra el proceso de elaboración del pistón o el martillo del instrumento (fig. 45), ésta pieza fue modelada en un programa (Rhinoceros), el cual sirvió de apoyo para determinar las dimensiones y el volumen de la pieza.

Para encontrar el peso exacto del martillo se aplicó la fórmula de la densidad, propiedad que nos permite medir la ligereza o pesadez de una sustancia.  $d = m/v$ , una vez conocida la densidad del material a utilizar, se calculo el volumen de la pieza en el software y a través de ésta, se obtuvo el peso establecido por Pfefferkorn, logrando maquinar esta pieza en el torno.

- densidad del acero= 7800 Kg./m<sup>3</sup>
- volumen de la pieza modelada en Rhinoceros= 69.032818 (+/- 2.6e-308)
- peso a obtener= 1180 gr.

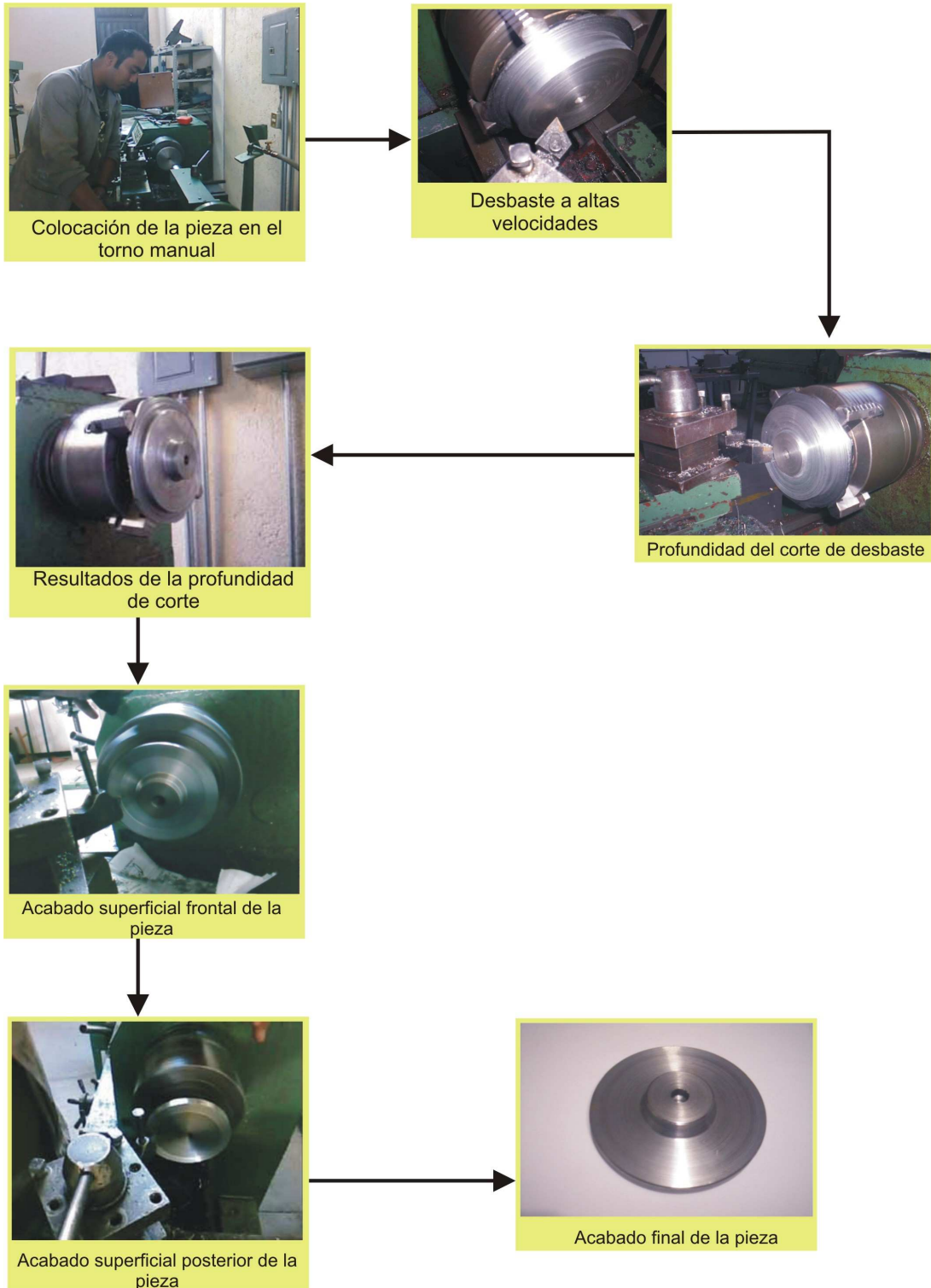
### Materiales y equipo

Torno manual, Cronómetro digital, Barra de acero dulce de 11 cm. de diámetro y 1/2" de espesor, Cortadores de acero de alta velocidad, Vernier y Machuelos de 1/2".

---

<sup>26</sup> **Artículo.** Mis algoritmos. Aprenda a crear diagramas de flujo, reglas para diagramas. [En línea].- [http://es.wikipedia.org/wiki/Diagramas\\_de\\_flujo](http://es.wikipedia.org/wiki/Diagramas_de_flujo) , Noviembre 2006

**Figura 45. Diagrama de flujo - elaboración del martillo**



### **5.1.2 Proceso de elaboración de la base estructural**

Una vez terminado el proceso de elaboración del martillo se siguió con la estructura cilíndrica, donde se planeó con material acrílico de 6 mm. de espesor, 24 cm. de altura y 76 cm. de largo. Para la realización de la base estructural se inició sacando los trazos en una lámina, posteriormente, ésta se doblo obteniendo un molde de lámina, la cual serviría mas adelante para sacar la base con el material acrílico.

Es importante aclarar que en este proceso de elaboración se hicieron dos pruebas: una fue en el horno del taller de cerámica y el segundo con una pistola de aire caliente del taller de plásticos, donde se calentaba el acrílico por áreas.

En la figura 46 se muestra este proceso de elaboración de la base estructural, así como el material y equipo que fueron utilizados.

#### **Materiales y equipo**

Lámina galvanizada 75 X 24 (h x b) cm.

Acrílico de 6mm. de espesor, 76 X 24 (b x h) cm.

Marcador: Lápiz o plumón

Flexo metro

Escuadra

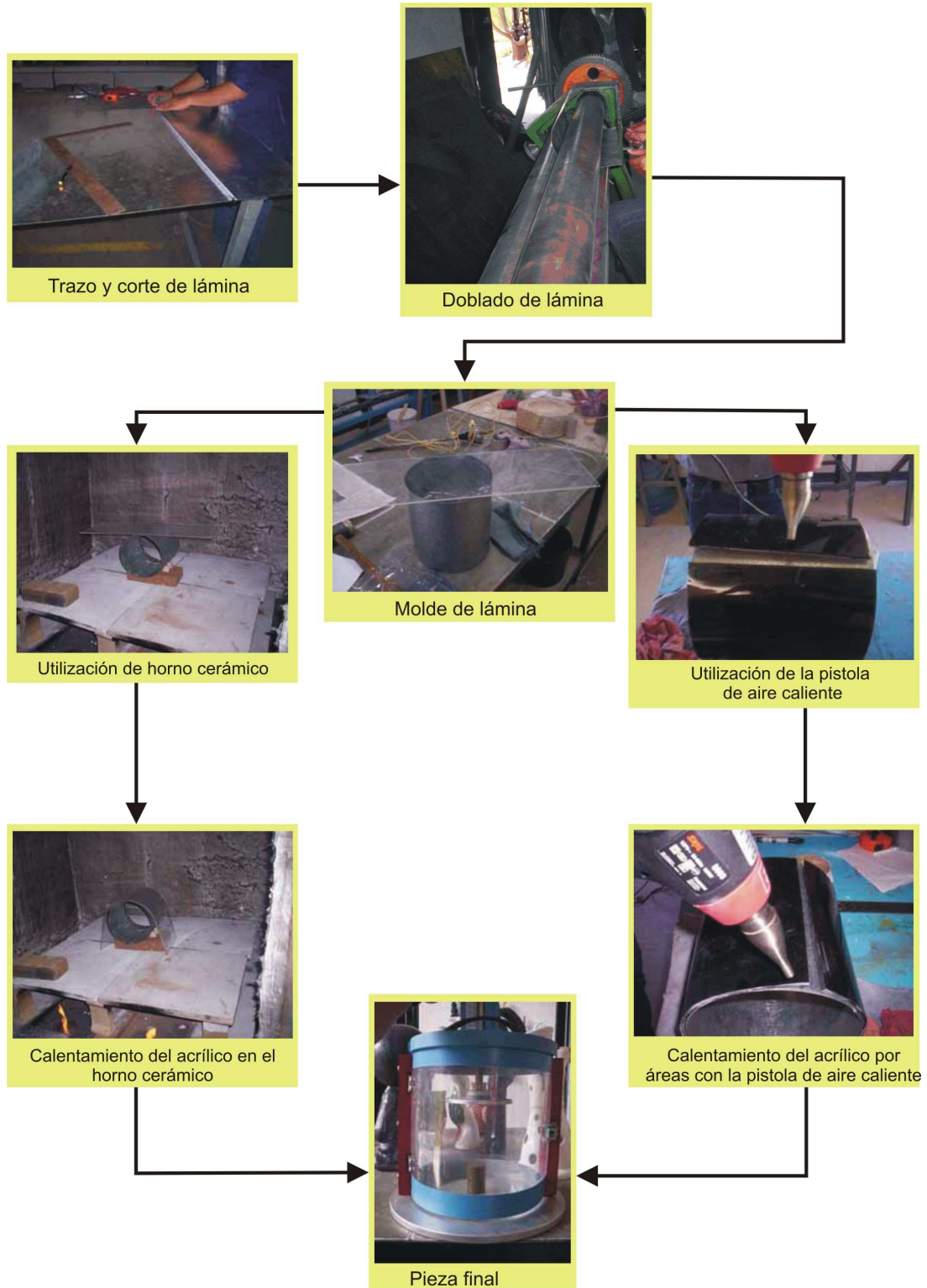
Tijera de lámina

Dobladora de lámina

Horno de cerámica

Pistola de aire caliente.

Figura 46. Diagrama de flujo - elaboración de la base estructural



### 5.1.3 Proceso de elaboración de la tapa para la base estructural

El siguiente proceso de elaboración fue construir la tapa del cilindro, por lo que en este proceso se hizo uso nuevamente del torno del taller de metalmecánica, el material a maquinar fue plástico por lo que es más fácil y rápido. En la siguiente (figura 47), se muestra este proceso.

#### Materiales y equipo

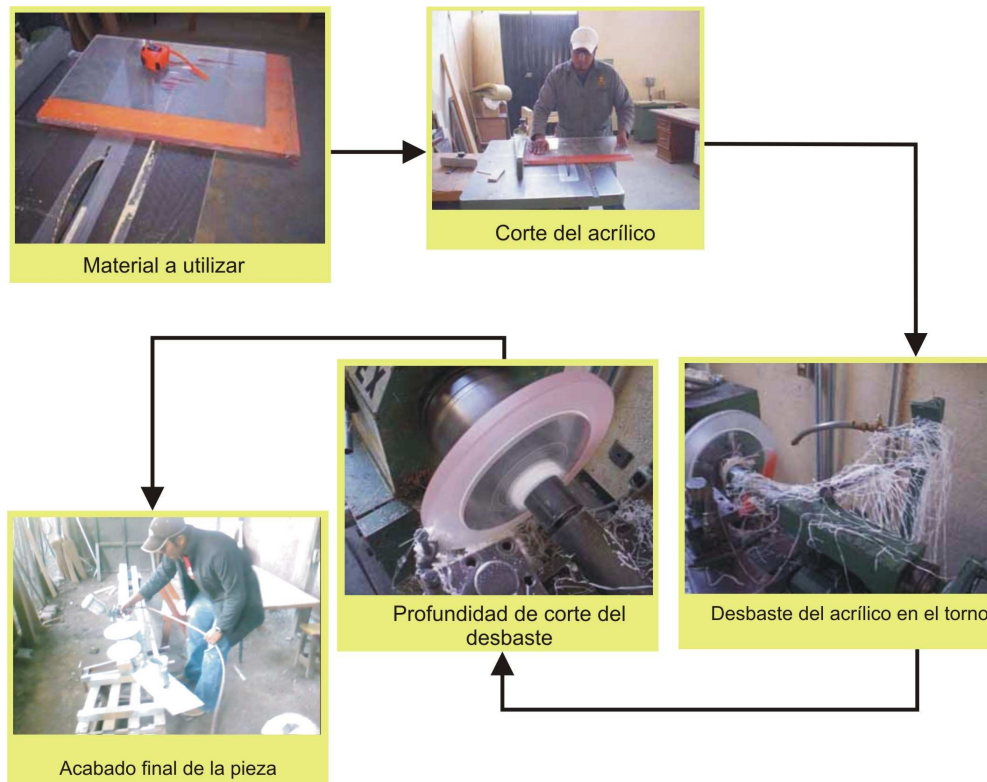
Torno manual

Cortadores de acero de alta velocidad

Acrílico de 19 mm. de espesor x 28 cm. de diámetro

Vernier y flexómetro

Figura 47. Diagrama de flujo - elaboración de la tapa para la base estructural





### 5.1.4 Proceso de elaboración de la base para la escala

A continuación se elaboró la base para la escala, para dicha elaboración se diseñó primeramente un modelo virtual, en el programa VisiCad series CAD/CAM, donde se elaboró un programa para la realización de la pieza y en la fresadora CNC del taller de metalmecánica se maquinó la pieza. (Figura 48).

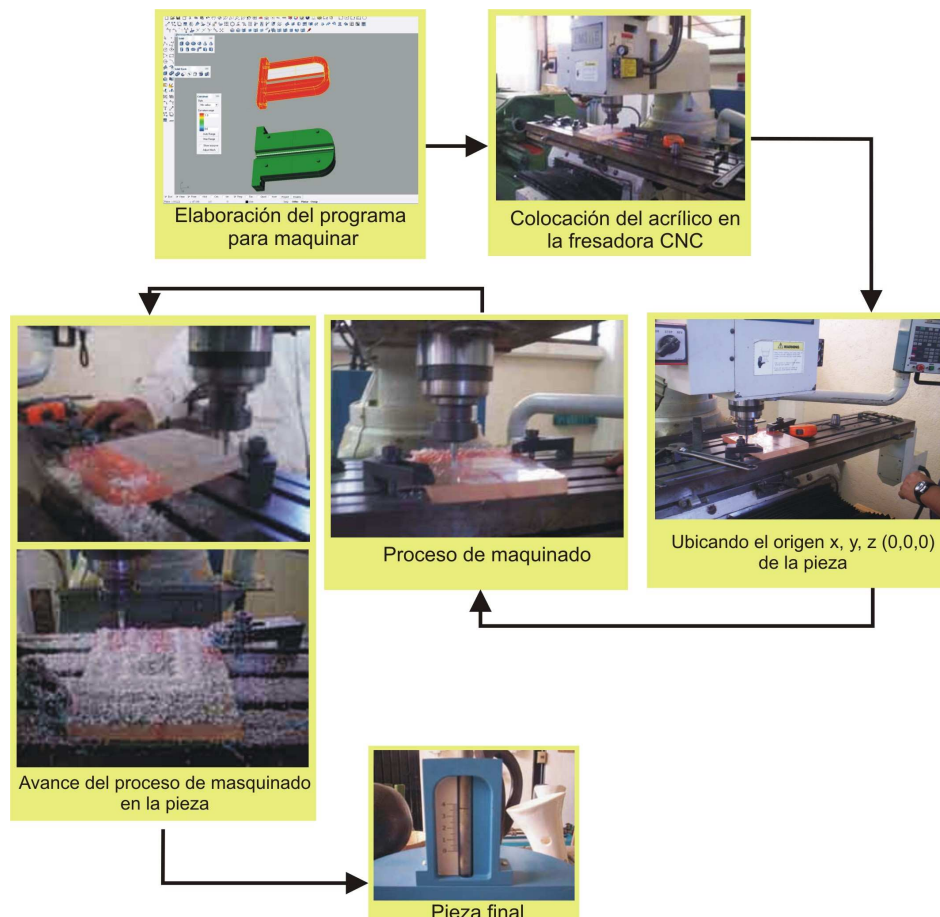
#### Materiales y Equipo

Acrílico de 19mm. de espesor

Cortadores de acero de alta velocidad de 3/16", 1/8"

Fresadora de CNC

Figura 48. Diagrama de flujo - elaboración de la base para la escala



### 5.1.5 Proceso de elaboración de la base para colocar las muestras

El siguiente proceso de elaboración fue maquinar la base donde se colocara la muestra, para ésta, se ocupó el torno del taller de metalmecánica. (figura 49).

#### Materiales y equipo

Torno manual

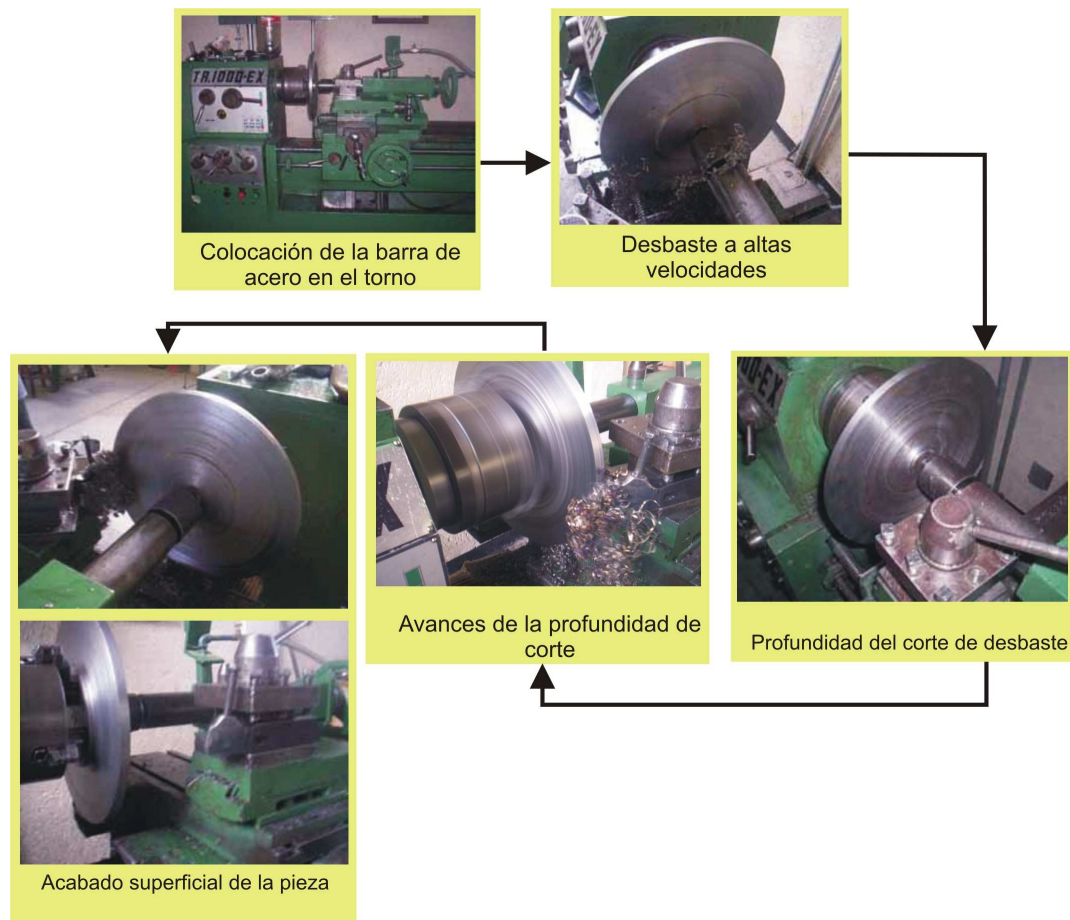
Cronómetro digital

Barra de acero dulce de 29 cm. de diámetro y ½" de espesor

Cortadores de acero de alta velocidad

Vernier

Figura 49. Diagrama de flujo – elaboración de la base para colocar las muestras

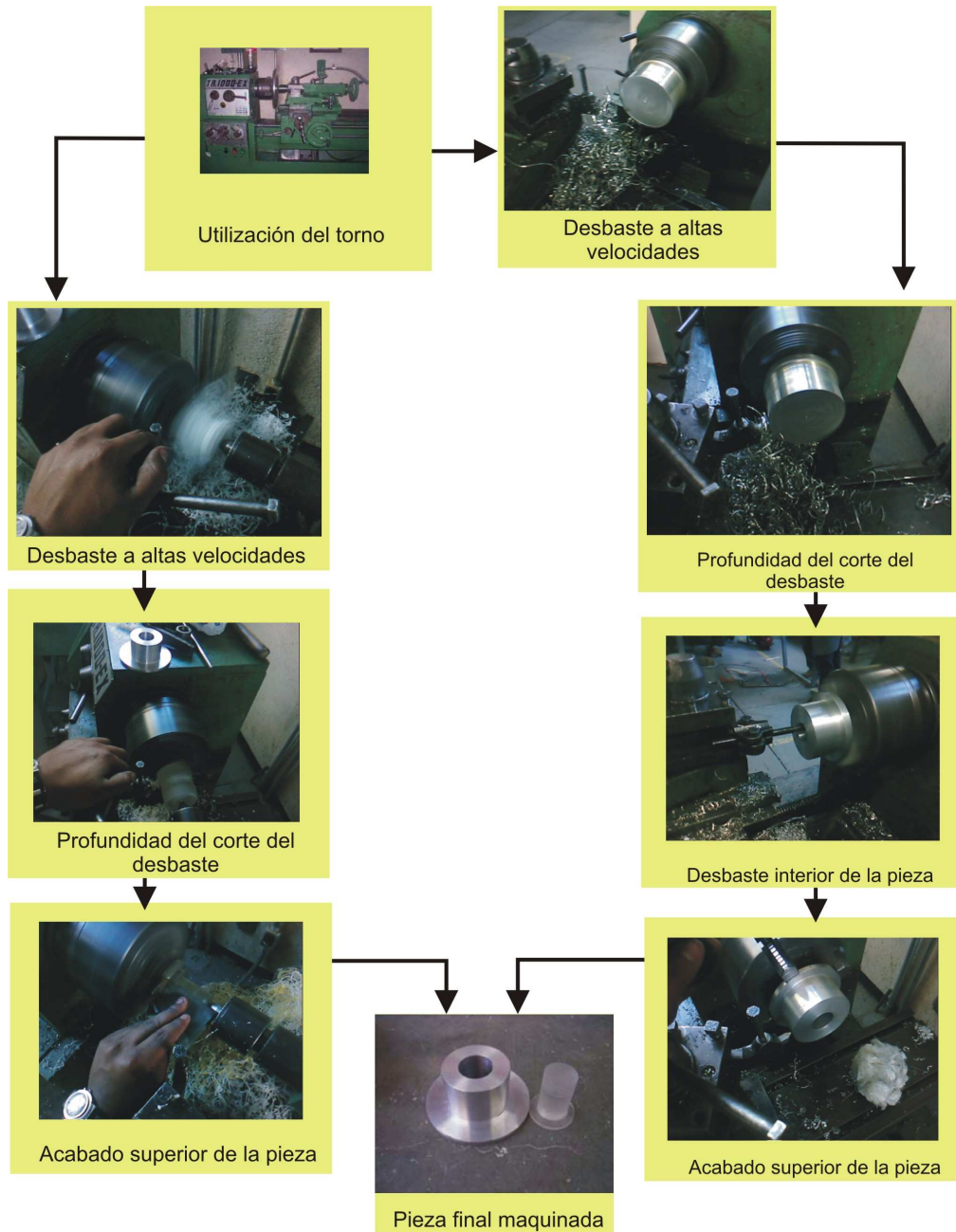




### 5.1.6 proceso de elaboración del molde para las muestras

Este proceso de elaboración consistió en maquinar la base para las muestras, (figura 50).

Figura 50. Diagrama de flujo – elaboración del molde para las muestras



### 5.1.7 proceso de elaboración de las bases rectangulares

En este proceso de elaboración se elaboraron las dos bases rectangulares que servirían de apoyo a la base estructural cilíndrica de acrílico. Este proceso fue realizado en la fresadora manual del taller de metalmecánica, (figura 51).

#### Materiales y equipo

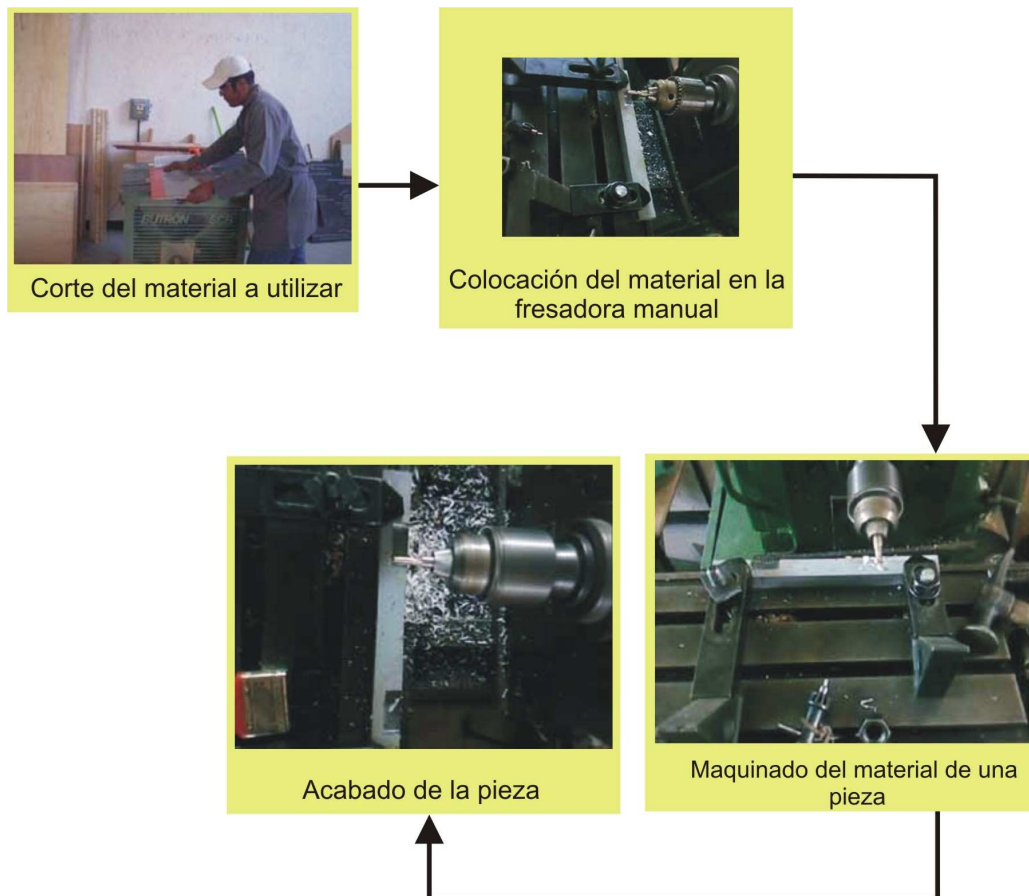
Fresadora manual

Barra de acrílico de 2.5 cm. de ancho x 23 cm. de altura.

Cortadores de acero de alta velocidad de 1/4"

Vernier

Figura 51. Diagrama de flujo – elaboración de las bases rectangulares



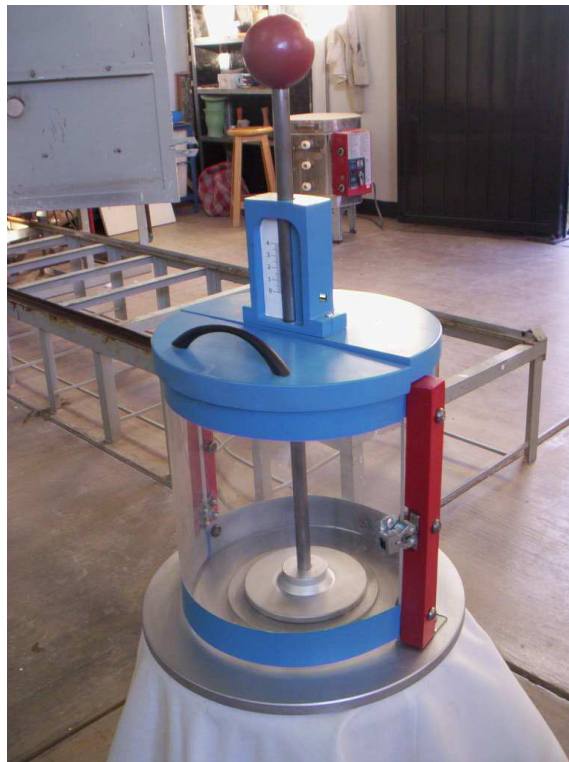
Una vez realizado cada uno de los procesos de elaboración del prototipo se llegaron a los detalles finales de éste. Así como el acabado superficial del instrumento. Aplicando cada uno de los colores propuestos en el prototipo (fig. 52).

Acabado superficial de los colores propuestos:

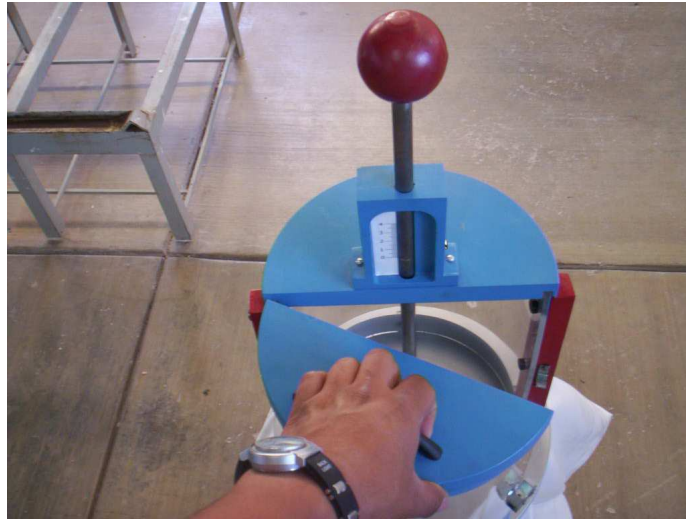
- ① Esmalte acrílico de secado rápido color Aluminio marca ULTRACOLOR
- ① Esmalte acrílico de secado rápido color Rojo INN marca BENECA
- ① Esmalte acrílico de secado rápido color Azul marca BENECA

## 5.2 Imágenes del prototipo final

En estas imágenes se muestra el prototipo final, así como el material y las dimensiones ya mencionadas. Los requerimientos que fueron establecidos ya han sido comparados anteriormente, por lo que ahora se muestra el modelo funcional completo.



**Figura 52. Modelo funcional**



**Figura 53. Sujeción de la manija para abrir la base**



**Figura 54. Abatimiento de la base hacia la izquierda**



**Figura 55. Molde para las muestras**



**Figura 56. Modelo funcional completo**



## VI. PRESENTACIÓN DEL DESARROLLO EXPERIMENTAL

---

### 6.1 Desarrollo experimental de las muestras

En este capítulo se presenta un desarrollo experimental, el cual se llevo a cabo con el prototipo, éste con la finalidad de evaluar la función, resistencia y ligereza del diseño.

Se retomaron algunas muestras de arcillas de algunos lugares de la región como lo son: San Jerónimo y San Bartolo, en Huajuapán de León y Oaxaca, respectivamente, también se utilizó arcilla industrial. Estas arcillas se tomaron del taller de cerámica y fueron utilizadas para probar el prototipo.

A lo largo de esta serie de imágenes se muestra el uso del prototipo, así como el desarrollo y análisis de las muestras de arcillas ya mencionadas. En la figura 57 se muestra el prototipo funcional.



Figura 57. Plasticímetro donde se realizaron las pruebas experimentales

## 6.2 Desarrollo de las primeras muestras

### 6.2.1 Muestras de San Bartolo, Oaxaca

1. En esta primera imagen se muestra el contenido de la arcilla con el agua dentro de un vaso de precipitado, éste último tiene un peso de 116 g. Esta primera muestra de arcilla es de San Bartolo, (figura 58).



**Figura 58. Peso de la primera muestra de San Bartolo, Oaxaca**

Una vez obtenido el peso de la muestra, el siguiente paso fue calcular los porcentajes de agua y arcilla de ésta.

600gr. Arcilla de San Bartolo	}	1,100gr	→	100%
500gr. H <sub>2</sub> O		Arcilla	→	x

54.54% Arcilla San Bartolo	}	TOTAL
45.45% H <sub>2</sub> O		

MUESTRA 1: 300gr material → 100%

136.36gr H <sub>2</sub> O	→	45.45%
163.62gr Arcilla	→	54.54%

Antes del deshidratador= 300gr de arcilla + 116gr del vaso precipitado= 416gr.

Después del deshidratador= 232 gr de arcilla + 116 gr del vaso precipitado= 348gr.

(136.36gr H<sub>2</sub>O - 68gr de H<sub>2</sub>O) TOTAL = 68.36gr H<sub>2</sub>O

163.62gr Arcilla / 232gr de arcilla después del deshidratador= 70.53%  
68.36gr H<sub>2</sub>O / 232gr arcilla después del deshidratador= 29.46%

	TOTAL	
163.62gr Arcilla	→	70.53%
68.36gr H <sub>2</sub> O	→	29.46%

2. después de haber calculado los porcentajes de la muestra y de ser amasada con las manos, ésta se coloca dentro del molde y se calcula el peso. Para evitar el pegado de la probeta al molde, éste se humedece con aceite de

linaza, teniendo en que en algunos casos, la adherencia al metal de la pasta hace difícil su manejo para determinar su humedad.



**Figura 59. La primera muestra es colocada dentro del molde**

3. Durante esta primera muestra y las demás, se desarrollaron tres muestras de cada una y en esta imagen podemos observar una muestra que ya ha sido retirada del molde (figura 60).



**Figura 60. La primera muestra es retirada del molde**

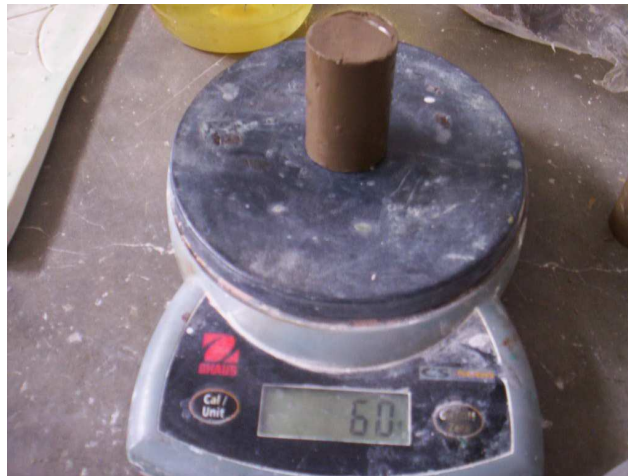
4. En esta siguiente imagen podemos observar ya las tres muestras de la arcilla de San Bartolo (fig. 61) y uno de los siguientes pasos a seguir, fue calcular el peso de cada una de ellas.





**Figura 61. Las tres muestras de San Bartolo, Oaxaca**

5. En esta imagen se observa una de las primeras muestras, de la cual se obtuvo el peso previo a la deformación (figura 62).



**Figura 62. Primera muestra de San Bartolo llega a pesar 60 gr.**

Se realiza esta misma operación con la tercera muestra de san Bartolo (figura 63)



**Figura 63. Tercera muestra de San Bartolo llega a pesar 58 gr.**

6. una de las primeras muestras es colocada dentro del instrumento con la finalidad de someterla a la deformación. El martillo tiene un peso de 1180 g. y a una altura de caída libre de 168 mm. de altura (figura 64).



**Figura 64. La muestra es colocada dentro del instrumento.**

7. Antes de retirar la muestra, se observa la altura final que llegó a tener ésta después de su deformación, la cual se observa 18 mm. (figura 65).



**Figura 65. Lectura de la escala de la primera muestra de San Bartolo**

8. Una vez obtenido el valor en la lectura de la escala se retira la muestra del instrumento (fig. 66)



**Figura 66. La muestra es retirada del instrumento**

9. Como último paso en esta primera muestra de San Bartolo, se muestra la deformación que cada una de las muestras llegó a tener y con estos datos arrojados por el instrumento a través de su altura final, se desarrolla el análisis (figura 67).



**Figura 67. Deformación de las tres muestras de la arcilla de San Bartolo**

### **6.2.1.1 Análisis de las muestras de San Bartolo, Oaxaca**

En esta primera muestra de San Bartolo se desarrollaron tres muestras, de las cuales se utilizaron el 70.53% de arcilla de San Bartolo, que equivale a 163.62g y el 29.46% de agua que equivale al 68.36g. Esto es el 100%.

La tabla 17 muestra el valor del coeficiente de plasticidad es:  $\alpha = 1.8$  y esto es en las tres muestras, según el valor que toma el coeficiente de proporcionalidad establecido por Pfefferkorn, este valor es menor que 2.5, por lo que el contenido de humedad de la pasta es insuficiente para su utilización.

**Tabla 17. Resultados de la primera muestra de arcilla de San Bartolo**

SAN BARTOLO PRIMERA MUESTRA	PESO (gr.)	DIÁMETRO (mm.)	ALTURA INICIAL (mm.)	ALTURA FINAL (mm.)
Muestra 1	62	30	45	18
Muestra 2	62	30	45	18
Muestra 3	62	30	45	18

## 6.2.2 Muestras de San Jerónimo, Oaxaca

El procedimiento de las muestras con arcilla de San Bartolo, es similar con las muestras de arcilla de San Jerónimo, pero en este caso el porcentaje de agua y arcilla fue diferente, ya que se le agrego mas agua a esta muestra, específicamente 50 g. más.

600gr. Arcilla de San Jeronimo	}	1,150gr	⇒	100%
550gr. H <sub>2</sub> O		Arcilla	⇒	x
52.17% Arcilla San Jeronimo	}	TOTAL		
47.82% H <sub>2</sub> O				

MUESTRA 1: 300gr material	⇒	100%
143.46gr H <sub>2</sub> O	⇒	47.82%
156.51gr Arcilla	⇒	52.17%

Antes del deshidratador= 300gr de arcilla + 116gr del vaso precipitado= 416gr.  
Después del deshidratador= 240 gr de arcilla + 116 gr del vaso precipitado= 356gr.

(143.46gr H<sub>2</sub>O - 60gr de H<sub>2</sub>O) TOTAL = 83.46gr H<sub>2</sub>O

156.51gr Arcilla / 240gr de arcilla después del deshidratador= 65.21%  
83.46gr H<sub>2</sub>O / 240gr arcilla después del deshidratador= 34.78%

TOTAL	
156.51gr Arcilla	⇒ 65.21%
83.46gr H <sub>2</sub> O	⇒ 34.78%

### 6.2.2.1 Análisis de las muestras de San Jerónimo, Oaxaca

En esta primera muestra de San Jerónimo se utilizó 65.21% de arcilla esto equivale a 156.51g y el 34.78% de agua que equivale al 83.46 g. Esto es el 100% en relación arcilla-agua.

La tabla 18 el valor del coeficiente de plasticidad en la primera y segunda muestra es:  $\alpha = 3.6$  y de  $\alpha = 3.4$  en la tercera muestra, según Pfefferkorn el valor que toma el coeficiente de proporcionalidad establecido por este valor es  $2.5 < (3.6 \text{ y } 3.4) < 4.0$ , entonces en este caso la pasta contiene una proporción de agua que le confiere una deformabilidad satisfactoria y en este caso en las tres muestras nuevamente se vuelve a cumplir el valor favorable para su utilización.

**Tabla 18. Resultados de la primera muestra de arcilla de San Jerónimo**

SAN JERÓNIMO PRIMERA MUESTRA	PESO (gr.)	DIAMETRO (mm.)	ALTURA INICIAL (mm.)	ALTURA FINAL (mm.)
Muestra 1	62	30	45	36
Muestra 2	62	30	45	36
Muestra 3	60	30	45	34

### 6.2.3 Muestras con arcilla industrial

En el caso de la arcilla Industrial no fue necesario colocarla dentro del deshidratador, por lo que en esta muestra se omitió este paso. Pero el uso del instrumento y del molde es similar al primer ejemplo que se realizó con la muestra de San Bartolo.

268gr Arcilla Industrial     $\implies$  70.15%  
80gr H<sub>2</sub>O                     $\implies$  29.85%

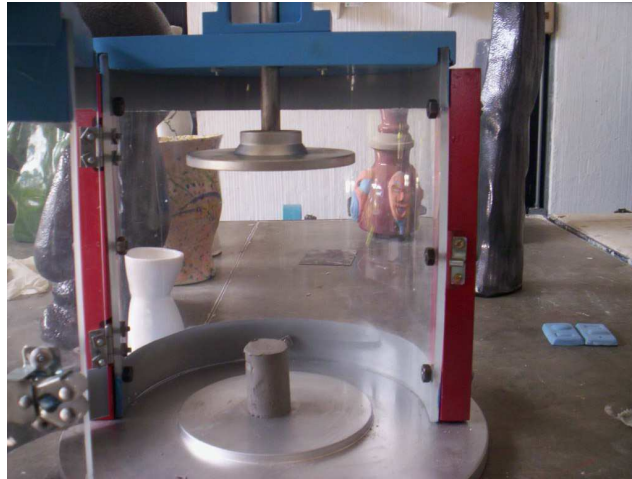
En esta imagen se pueden observar las primeras muestras con la arcilla industrial, éstas ya fueron retiradas del molde (figura 68)



**Figura 68. Primeras muestras con arcilla industrial**

Posteriormente estas muestras son colocadas dentro del instrumento para ser sometida a su deformación y saber el valor que llegan a tener (figura 69)





**Figura 69. La primera muestra industrial es colocada en el instrumento**



**Figura 70. Aplastamiento de la muestra**

Una vez realizada esta operación en las tres muestras se presentan en esta imagen la altura final que llegaron a tener las tres primeras muestras de la arcilla industrial (figura 71).



**Figura 71. Presentación de las tres muestras de arcilla industrial**

### **6.2.3.1 Análisis de las muestras con arcilla industrial**

En esta primera muestra de arcilla industrial con la que se contaba en el taller se utilizó el 70.15% de arcilla, esto equivale a 268g de arcilla y el 29.85% de agua a 80g, lo cual equivalente al 100% en relación arcilla-agua.

En la tabla 19 se observa el valor del coeficiente de plasticidad de la arcilla industrial, en las primeras dos muestras es:  $\alpha = 1.9$  con un peso de 62 g y  $\alpha = 1.7$  en la tercera muestra con el peso de 60g, como se observa en la (tabla 23); es importante mencionar que a esta tercera muestra se le proporcionó mas tiempo a la hora de ser colocada en el molde. Según Pfefferkorn el valor que toma el coeficiente de proporcionalidad establecido por este valor es si el  $\alpha < 2.5$  el contenido de humedad de la pasta es insuficiente para su utilización, por lo tanto como el coeficiente de plasticidad es menor al coeficiente establecido por Pfefferkorn, esta muestra con la cantidad de arcilla-agua que contiene no es la adecuada ni la optima para su manejo y utilización.

**Tabla 19. Resultados de la primera muestra de arcilla Industrial**



ARCILLA INDUSTRIAL PRIMERA MUESTRA	PESO (gr.)	DIAMETRO (mm.)	ALTURA INICIAL (mm.)	ALTURA FINAL (mm.)
Muestra 1	62	30	45	19
Muestra 2	62	30	45	19
Muestra 3	60	30	45	17

### 6.3 Desarrollo de las segundas muestras

#### 6.3.1 Muestras de San Bartolo, Oaxaca

Como ya se presentó en la primera muestra, un desglose de imágenes el uso del molde y del prototipo. Para éste otro desarrollo de las segundas muestras de arcilla, el procedimiento es similar.

- En la segunda muestra de arcilla de San Bartolo se utilizó 160gr de arcilla por lo que ésta fue el 100%.

160gr Arcilla de San Bartolo	⇒	38.53%
98.36gr H <sub>2</sub> O	⇒	61.47%

##### 6.3.1.1 Análisis de las muestras de San Bartolo, Oaxaca

En la segunda muestra (tabla 20) se utilizó el 38.53% de arcilla de San Bartolo, que equivale a 160g de arcilla y el 61.47% de agua que equivale a 98.36g. Como se puede observar, en esta segunda muestra se aplicó mas contenido de agua y se redujo la cantidad de arcilla. Pero se mostraron algunas diferencias en el peso y con respecto a su altura inicial.

El valor que toma este coeficiente de plasticidad en la primera muestra es de:  $\alpha = 2.9$  y la segunda y tercera muestra es de:  $\alpha = 2.6$ , el valor que toma el coeficiente de proporcionalidad establecido por Pfefferkorn es de que  $2.5 < \alpha < 4.0$ , la pasta

contiene una proporción de agua que le confiere una deformabilidad satisfactoria y en este caso en las tres muestras se cumple, por lo que esta pasta es favorable para su utilización.

**Tabla 20. Resultados de la segunda muestra de arcilla de San Bartolo**

SAN BARTOLO SEGUNDA MUESTRA	PESO (gr.)	DIAMETRO (mm.)	ALTURA INICIAL (mm.)	ALTURA FINAL (mm.)
Muestra 1	66	30	45	29
Muestra 2	64	30	45	26
Muestra 3	64	30	45	26

### 6.3.2 Muestras de San Jerónimo, Oaxaca

- Segunda muestra de arcilla de San Jerónimo, esta fue sometida al deshidratador para disminuirle más contenido de agua de la primera muestra por lo que;
- Después de 35 minutos se retiró del deshidratador y el contenido de agua que se le disminuyó fue de (-6gr de H<sub>2</sub>O), el uso del molde y prototipo es similar a las primeras muestras.

228gr Arcilla de San Jeronimo	⇒	66.03%
77.46gr H <sub>2</sub> O	⇒	33.97%

#### 6.3.2.1 Análisis de las muestras de San Jerónimo, Oaxaca

La segunda muestra (tabla 21) se utilizó el 66.03% de arcilla de San Jerónimo equivale a 228g de arcilla y el 33.97% de agua que equivale a 77.46g siendo esto el 100% en relación arcilla-agua. En esta segunda muestra se aplicó mas contenido de arcilla y se redujo la cantidad de agua en comparación a la primera muestra.

El valor que toma este coeficiente de plasticidad en todas la muestra es de:  $\alpha = 1.5$  y de acuerdo con el valor que toma el coeficiente de proporcionalidad establecido por Pfefferkorn es de que  $\alpha < 2.5$ , el contenido de humedad de la pasta es insuficiente para su utilización, por lo tanto esta muestra con la cantidad de arcilla-agua que tiene, no es la adecuada para su manejo.

**Tabla 21. Resultados de la segunda muestra de arcilla de San Jerónimo**

SAN JERÓNIMO SEGUNDA MUESTRA	PESO (gr.)	DIAMETRO (mm.)	ALTURA INICIAL (mm.)	ALTURA FINAL (mm.)
Muestra 1	58	30	45	15
Muestra 2	58	30	45	15
Muestra 3	58	30	45	15

### 6.3.3 Muestras con arcilla industrial

Por último en esta segunda muestra de arcilla industrial se le aumentó mas el contenido de arcilla y agua, en relación a la primera muestra por lo que ésta llegó a quedar de la siguiente manera. Es importante mencionar que también en estas muestras, se desarrollaron tres segundas muestras de cada una de las diferentes mostradas anteriormente.

308gr Arcilla Industrial	⇒	72.41%
85gr H <sub>2</sub> O	⇒	27.59%

#### 6.3.3.1 Análisis de las muestras de arcilla industrial

En la segunda muestra de arcilla industrial (tabla 22) se utilizó el 72.41% de arcilla de industrial equivalente a 308g de arcilla y el 27.59% de agua que equivale a 85g, esto en relación arcilla-agua es equivalente al 100%.

Ésta aumentó la cantidad de arcilla 40 g. en relación con la primera muestra y de contenido de agua también se le aumento en relación con la primera muestra 5g de agua. Sin duda alguna esta muestra contiene mas arcilla en relación con el

contenido de agua. Con lo que se hallaron diferencias en el peso con respecto a su altura inicial.

El valor que toma este coeficiente de plasticidad en las primeras dos muestras es:  $\alpha = 3.5$  y la tercera muestra es de:  $\alpha = 3.1$  el valor que toma el coeficiente de proporcionalidad establecido por Pfefferkorn nos dice que si  $2.5 < \alpha < 4.0$ , la pasta contiene una proporción de agua que le confiere una deformabilidad satisfactoria, y en este caso en las tres muestras se cumple, ya que el valor obtenido es mayor que 2.5 y menor que 4.0 por lo que se encuentra dentro del rango donde la pasta es agradable para su utilización.

**Tabla 22. Resultados de la segunda muestra de arcilla Industrial**

ARCILLA INDUSTRIAL SEGUNDA MUESTRA	PESO (gr.)	DIAMETRO (mm.)	ALTURA INICIAL (mm.)	ALTURA FINAL (mm.)
Muestra 1	66	30	45	35
Muestra 2	66	30	45	35
Muestra 3	64	30	45	31

Una vez desarrollado este análisis, los resultados proyectados nos dicen que una buena pasta que contiene una proporción de agua y arcilla adecuada nos dará como resultado una deformabilidad satisfactoria.

Este método es muy útil en la determinación de la plasticidad para asegurar un apropiado conformado de piezas cerámicas, evitando que se generen grietas después del secado posterior.

## CONCLUSIONES GENERALES

---

Finalmente, el proyecto ha sido desarrollado para llevarse a cabo, cumpliendo con cada uno de los requerimientos establecidos dentro del proyecto. El objetivo de rediseñar un instrumento que proporcione un valor cuantitativo a través de la escala, es con la finalidad de verificar el valor que se obtenga acerca de la plasticidad para las pastas cerámicas, que se preparen y usen en el Taller de Cerámica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Este valor que es el coeficiente de plasticidad obtenido, corresponde al porcentaje de agua al cual la muestra experimenta una contracción del 30% con respecto a su altura inicial.

El método de K. Pfefferkorn que se basa en que la plasticidad de una arcilla puede determinarse por la compresión y correspondiente deformación ejercida en muestras cilíndricas de un determinado tamaño, amasadas con diferentes porcentajes de agua, sometidas a compresión por caída de un martillo de 1180 g. y a una altura ya definida de 168 mm. Podemos decir con certeza, que este método es muy útil en la determinación de la plasticidad para asegurar un apropiado conformado de piezas cerámicas, evitando que se generen grietas después del secado posterior.

Sin embargo para resolver el problema fue necesario un análisis de los productos que existen en el mercado, en este caso solo se encuentran dos. El primero original donde las primeras determinaciones se llevaron a cabo con el plasticímetro concebido por K. Pfefferkorn., el segundo desarrollado por un laboratorio de cerámica [Franco Gabrielli Technology](#); ambos cumplen con el concepto de funcionalidad, pero no el de ergonomía, ligereza y fácil uso y manejo. En estos se retomaron elementos de análisis, que permitieron que se pudiera desarrollar de otra forma, con otros materiales y utilizando otros métodos de cómo obtener el valor cuantitativo de las pastas cerámicas.

Una herramienta importante que sirvió de apoyo, fue la metodología de investigación de Bruno Munari. Esta se realiza en varias etapas, en una de ellas se

encuentra la etapa de creatividad, en éste se aplicó una metodología de diseño QFD y una técnica de análisis de valor. El objetivo primordial de la aplicación de esta metodología, es incrementar la importancia del rediseño de un producto, así como la reducción del costo en la fabricación. Estos objetivos son de suma importancia para el desarrollo del rediseño incorporado al taller de cerámica.

La técnica de análisis de valor es un método utilizado por equipos multidisciplinares en la fase de identificación de oportunidades de mejora y sobre todo, en el diseño de soluciones. Asimismo, está estrictamente relacionado con otras herramientas, como son la lluvia de ideas, el análisis de datos y el diagrama de flujo en esta técnica se tomaron en cuenta la información de los directores de tesis.

El rediseño del instrumento fue en base a las necesidades del usuario, las del taller de cerámica y también tomando en cuenta, las de otros talleres, así como la opinión de expertos en los talleres y los materiales para su fabricación. Por medio de la opinión de los expertos en la materia, se definieron cuales eran las funciones del artefacto mas eficaces al momento de ser utilizado.

El objetivo de este trabajo fue la propuesta del rediseño del plasticímetro, para esto fue necesario conocer las funciones de el artefacto arrojando resultados cualitativos en cada una de las muestras, así como también de la realización correcta de la metodología de diseño, pues a través de esta se pudieron realizar los bocetos, análisis e investigaciones que ayudaron a determinar la forma las dimensiones, convirtiéndose adecuado, seguro, confortable, estético, fácil al ser trasladado de un lugar a otro utilizando material ideal para su fabricación en el taller de Metalmecánica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

### Características del Producto

El artefacto cuenta con 6 funciones principales establecidas por Pfefferkorn los demás son partes establecidas y propuestas por el diseñador como lo son, las manijas para poder abrir la puerta y colocar la muestra. Así como también el botón del seguro. En la (figura 72) se muestran las funciones finales del artefacto.

Dimensiones: 28 cm. de diámetro y 45 cm. de altura.

Fabricado con acero dulce de 1" y ½". Acrílico de 6 mm. y 19 mm. de espesor.

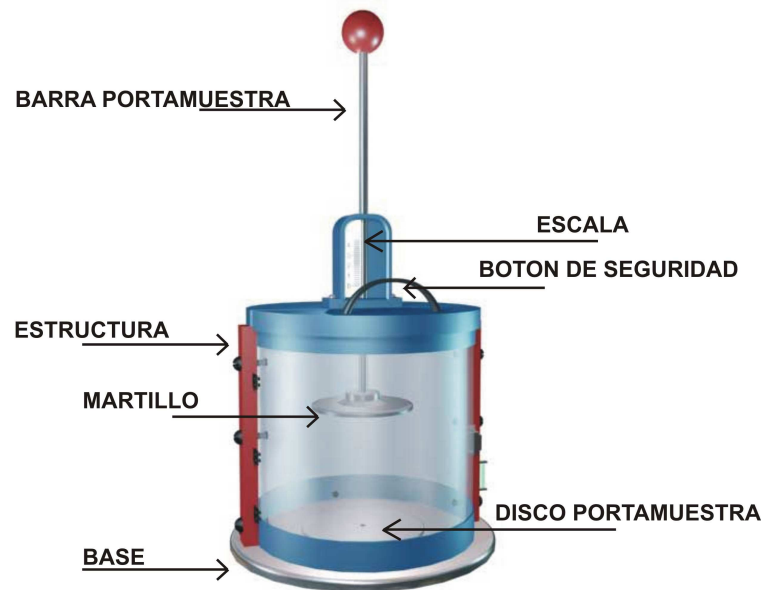


Figura 72. Funciones Finales del Artefacto

Cuenta con 17 piezas ensambladas las cuales son las siguientes:

**Tabla 23. Componentes del Producto**

COMPONENTES DEL PRODUCTO
A. Base de Acero
B. Ángulos de 90°
C. Tornillos de 1/8"
D. Paredes rectangulares de acrílico
E. Tornillos de 1/4"
F. Base cilíndrica de acrílico de 6mm. de espesor
G. Bisagras con tornillos que están sujetas a la base cilíndrica
H. Seguro de la base cilíndrica que sirve para cerrar la base cilíndrica
I. Tapa de la base cilíndrica
J. Manija de la tapa
K Barra de acrílico con riel donde estará la escala
L. Escala de lectura en mm.
M. Tornillos con tuercas de 1/8" que sujetan a la barra con la base cilíndrica
N. Tubo de acero con riel sujeto al pistón o martillo
O. Base de acero del martillo
P. Bola de plástico sujeta al tubo de acero
Q. Molde para la arcilla

El producto final desarrollado y maquinado en el Taller de Metalmecánica cuenta con todos los elementos y requerimientos establecidos ya mencionados dentro del proyecto. (Figura 73).





**Figura 73. Artefacto Final**

El proyecto se vio completado al desarrollar cada una de las muestras, arrojando resultados de una pasta que contiene una proporción de agua y arcilla adecuada.

Estos son los resultados experimentales importantes obtenidos:

### **1. Arcilla de san Bartolo**

Se utilizó el 38.53% de arcilla que equivale a 160g de arcilla y el 61.47% de agua que equivale a 98.36g de esto es el 100%.

El valor que toma este coeficiente de plasticidad en la primera muestra es de:  $\alpha = 2.9$  y 2.6 el valor que toma el coeficiente de proporcionalidad establecido por Pfefferkorn es de que  $2.5 < \alpha < 4.0$ , la pasta contiene una proporción de agua que le confiere una deformabilidad satisfactoria y en este caso en las tres muestras se cumple, por lo que esta pasta es favorable para su utilización. (tabla. 24).

**Tabla 24. Segunda muestra de arcilla de San Bartolo**

SAN BARTOLO SEGUNDA MUESTRA	PESO (gr.)	DIAMETRO (mm.)	ALTURA INICIAL (mm.)	ALTURA FINAL (mm.)
Muestra 1	66	30	45	29
Muestra 2	64	30	45	26
Muestra 3	64	30	45	26

## **2. Arcilla de San Jerónimo**

En esta se utilizo 65.21% de arcilla esto equivale a 156.51g y el 34.78% de agua que equivale al 83.46g. Esto es el 100% en relación arcilla-agua.

El valor del coeficiente de plasticidad es:  $\alpha = 3.6$  y  $\alpha = 3.4$  según Pfefferkorn el valor que toma el coeficiente de proporcionalidad establecido por este valor  $2.5 < (3.6 \text{ y } 3.4) < 4.0$ , entonces en este caso, la pasta contiene una proporción de agua que le confiere una deformabilidad satisfactoria, en este caso en las tres muestras nuevamente se vuelve a cumplir el valor favorable. (tabla. 25)

**Tabla 25. Primera muestra de arcilla de San Jerónimo**

SAN JERÓNIMO PRIMERA MUESTRA	PESO (gr.)	DIAMETRO (mm.)	ALTURA INICIAL (mm.)	ALTURA FINAL (mm.)
Muestra 1	62	30	45	36
Muestra 2	62	30	45	36
Muestra 3	60	30	45	34

### 3. Arcilla Industrial

En esta ultima se utilizó el 72.41% de arcilla de industrial equivalente a 308g de arcilla y el 27.59% de agua que equivale a 85g de esto en relación arcilla-agua equivalente al 100%.

El valor que toma este coeficiente de plasticidad es:  $\alpha = 3.5$  y  $3.1$  el valor que toma el coeficiente de proporcionalidad establecido por Pfefferkorn nos dice que si  $2.5 < \alpha < 4.0$ , la pasta contiene una proporción de agua que le confiere una deformabilidad satisfactoria y en este caso en las tres muestras se cumple ya que el valor obtenido es mayor que 2.5 y menor que 4.0 por lo que se encuentra dentro del rango favorable. (tabla. 26)

**Tabla 26. Segunda muestra de arcilla Industrial**

ARCILLA INDUSTRIAL SEGUNDA MUESTRA	PESO (gr.)	DIAMETRO (mm.)	ALTURA INICIAL (mm.)	ALTURA FINAL (mm.)
Muestra 1	66	30	45	35
Muestra 2	66	30	45	35
Muestra 3	64	30	45	31

Por ultimo K. Pfefferkorn propuso este método para obtener un valor de la plasticidad de una pasta cerámica que consiste en someter una probeta a un ensayo de compresión.

Este método es muy útil y rápido en la determinación de la plasticidad para asegurar un apropiado conformado de piezas cerámicas, evitando que se generen grietas después del secado posterior.

Finalmente se concluye, que este proyecto es el resultado de largas jornadas de trabajo y de investigación, así como de la aplicación de la metodología seleccionada, la elaboración del prototipo y el desarrollo experimental de las

muestras. Esto con la finalidad de probar el funcionamiento del instrumento y proporcionar al usuario un manual de su uso. Es importante mencionar que el propósito de la realización de dicho proyecto, es contribuir en la mejora del producto y asegurar un apropiado conformado de piezas cerámicas evitando que se generen grietas después del secado posterior y de esta manera cubrir la necesidad del taller de cerámica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

## BIBLIOGRAFIA

---

- 1.- Bruno Munari "Como nacen los objetos" Editorial Gustavo Gilila 8ª edición del 2000
- 2.- Artículo. Enrique Yacuzzi, Fernando Martín.- QFD: Conceptos, Aplicaciones y nuevos desarrollos. Universidad del CEMA, Aventis Pharma.- [en línea]  
<http://www.cema.edu.ar/publicaciones/download/documentos/234.pdf>.- Abril 2003
- 3.- Artículo. Suburban emergency management project. What is Clay.- [En línea].-  
[http://www.semp.us/biots/biot\\_226.html](http://www.semp.us/biots/biot_226.html) , June 23, 2005
- 4.- Artículo. Emilia García Romero, Mercedes Suárez Barrios.- Las arcillas: propiedades y usos. Universidad Complutense Madrid, Universidad de Salamanca. [En línea].- <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm> , Octubre 16, 2006.
- 5.- C. D. Barton. "Clays Minerals". Department Agriculture Forest Service, Aiken, South Carolina, U.S.A. Encyclopedia of soil Science (2002)
- 6.- E.C. Bloor. "Plasticity, a Critical Survey". Transaction British Ceramic Society. 56 (9) 423, (1957)
- 7.- W. Eitel. "Silicate Science". Vol. I "silicates Structures". Academia Press, New York (1964).
- 8.- ASTM. "Método de determinación de Plasticidad" designación C. 181 (1947).
- 10.- Lic. H. Chamorro, Dr. T. Krenkel y Dr. E. Pereida. "Correlación entre índices de plasticidad de arcillas" Bol. Soc. Esp. Ceram., Vol. 7, Num. 4.
- 11.- A.D searle, R.W. Grimshaw. "The chermistry and physics of clays and other ceramic materials". Ed. E Benn Limited. London (1960).

12.- F. Moore "Two instruments for studying the plasticity of clays". J. Sci. Instrum. 1963, Vol. 4

13.- A. M. Querol Villalba "Aplicación del método de Pfefferkorn al control de la plasticidad en pastas de extrusión" Boletín de la Sociedad española de Cerámica y vidrio. Vol. 22, Num. 5 285-289 (1983).

16.- Artículo. Equipamientos cerámicos.-[En línea].-  
<http://www.servitech.com.br/espanhol/plasticometro.htm> , june2006

21.- Rodríguez M. Gerardo, "Manual de diseño industrial, metodología para el desarrollo de proyectos de diseño industrial", UAM-A, p. 32,34

24.- Libro: "Enciclopedia del plástico" 2a ed. Vol. I, II Ed. Grupo PINE, S.A de C.V. México.1999/2000.

26.- Artículo. Mis algoritmos. Aprenda a crear diagramas de flujo, reglas para diagramas. [En línea].- [http://es.wikipedia.org/wiki/Diagramas\\_de\\_flujo](http://es.wikipedia.org/wiki/Diagramas_de_flujo) , Noviembre 2006

## GLOSARIO GENERAL

---

**Arcilla:** Roca sedimentaria, formada a partir de depósitos de grano muy fino, compuesta esencialmente por silicatos de aluminio hidratados: la arcilla, al agregarle agua, se hace muy plástica. Fuente: Diccionarios del mundo [en línea].- <http://www.elmundo.es/diccionarios>

**Benchmarking:** Filosofía japonesa en la que se analiza a la competencia para aprender de ellos y mejorarlos. El Benchmarking de procesos: Técnica de administración estratégica, para la búsqueda continúa de las mejores prácticas de negocio y, aplicarlas a empresas o instituciones. Fuente: Wikipedia la Enciclopedia Libre. [En línea].- <http://www.businesscol.com/productos/glosarios/administrativo/glossary.php?word=BENCHMARKING>

**Coefficiente:** En ciencias físicas coeficiente es una expresión numérica que mediante alguna fórmula determina las características o propiedades de un cuerpo. Fuente: Wikipedia la Enciclopedia Libre. [En línea].- <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>

**Concepto:** Se le llama concepto a la abstracción intelectual de las características o notas esenciales de un elemento físico o ideal, y prácticamente es toda aquella especificación que se le da algún objeto, trabajo, etc. Fuente: Wikipedia la Enciclopedia Libre. [En línea].- <http://es.wikipedia.org/wiki/Concepto>

**Elasticidad:** Designa la propiedad mecánica de ciertos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentra sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas exteriores se eliminan. Fuente: Wikipedia la Enciclopedia Libre. [En línea].- <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>

**Ergonomía:** f. Ciencia que estudia la capacidad y la psicología del hombre en relación con su trabajo y la maquinaria o equipo que maneja y trata de mejorar las condiciones que se establecen entre ellos: la ergonomía estudia la luz bajo la cual es mejor trabajar. Fuente: Wikipedia la Enciclopedia Libre. [En línea].- <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>

**Estética:** Artístico, de bello aspecto, 2.-f. Rama de la filosofía que trata de la belleza y de la teoría fundamental y filosófica del arte. Fuente: Diccionarios del mundo [en línea].- <http://www.elmundo.es/diccionarios>

**Feldespatos:** Son grupos de minerales constituyentes fundamentalmente de las rocas ígneas aunque pueden encontrarse en cualquier tipo de roca. Los feldespatos corresponden a los silicatos de aluminio y de calcio, sodio o potasio, o mezclas de esas bases. Fuente: Wikipedia la Enciclopedia Libre. [En línea].- <http://es.wikipedia.org/wiki/Feldespatos>

**Funcionalidad:** f. Conjunto de características que hacen que algo sea práctico y utilitario: en el diseño de este vehículo se ha buscado la funcionalidad. Fuente: Diccionarios del mundo [en línea].- <http://www.elmundo.es/diccionarios>

**Granulometría.** Consiste en la determinación de los tipos de granos o partículas del suelo y los porcentajes en que se encuentran presentes. [Del lat. granulum, grano pequeño, y del gr. metro, medida] - Estudio de la distribución de los elementos de una roca detrítica según su tamaño. Fuente: [en línea].- <http://hispanismo.cervantes.es/documentos/popovat.pdf>

**Intercambio catiónico:** Es la capacidad del suelo de mantener y cambiar cationes y se mide en miliequivalentes por 100 gramos de suelo y aumenta con el contenido de arcilla y de materia orgánica. Fuente: Manual de Lombricultura.com [en línea].- <http://www.manualdelombricultura.com/glosario/pal/132.html>

**Metalenguaje:** m. LING. Lenguaje natural o formal que se usa para explicar o hablar del lenguaje mismo o de una lengua: las gramáticas formales son metalenguajes. Fuente: Wikipedia la Enciclopedia Libre. [En línea].- <http://es.wikipedia.org/wiki/Metalenguaje>

**Metodología de despliegue de la función calidad, QFD:** La metodología de despliegue de la función calidad o QFD (por sus siglas en inglés), es una



metodología utilizada para probar los conceptos iniciales del diseño del producto. Además permite sistematizar la información obtenida del usuario hasta llegar a definir las características de calidad del producto/servicio, adaptándolo al mercado. Normalmente se utiliza como parte de la Ingeniería Concurrente (CE, por sus siglas en inglés). Fuente: **Artículo**. Instituto Aragonés de fomento.- La calidad total-índice. Valenzuela.- [en línea].- <http://www.iaf.es/publicaciones/articulo/cap19.htm> , octubre 2005

**Pasta cerámica:** Se denomina a una mezcla de tres tipos de materiales: arcillas, aplásticos o desengrasantes, y fundentes. Dada la frecuente dificultad para trabajar la arcilla tal cual, la industria cerámica suele mezclar ésta con materiales de poca o ninguna plasticidad, también llamados aplásticos o desengrasantes. De esta forma consigue reducir la formación de tensiones y grietas en el proceso de secado, anterior a la cocción. Es también usual añadir algún fundente a la mezcla, para conseguir más vitrificación (menor porosidad) post-cocción, o la misma porosidad a menor temperatura de cocción. Fuente: Wikipedia la Enciclopedia Libre. [En línea].- [http://es.wikipedia.org/wiki/Pasta\\_cerámica](http://es.wikipedia.org/wiki/Pasta_cerámica)

**Permeabilidad:** Capacidad variante con la que el agua penetra en el suelo bajo la fuerza de la gravedad. Por consiguiente expresa la intensidad de la percolación. Fuente: Manual de Lombricultura.com [en línea].- <http://www.manualdelombricultura.com/glosario/pal/157.html>

**Plasticidad:** Es la propiedad mecánica de un material, biológico o de otro tipo, de deformarse permanentemente e irreversiblemente cuando se encuentra sometido a tensiones por encima de su rango elástico. Fuente: Wikipedia la Enciclopedia Libre. [En línea].- [http://es.wikipedia.org/wiki/Plasticidad\\_\(mecánica\\_de\\_sólidos\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Plasticidad_(mecánica_de_sólidos))

**Pleocroísmo:** Es la facultad que presentan algunos minerales de absorber las radiaciones luminosas de distinta manera en función de la dirección de vibración. Por esta propiedad, un mismo cristal puede aparecer con coloraciones diferentes dependiendo de la orientación en que haya caído en la preparación microscópica. Fuente: Diccionarios del mundo [en línea].- <http://es.wikipedia.org/wiki/Pleocroismo>

**Reología:** Es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos. A relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales

que son capaces de fluir. Fuente: Wikipedia la Enciclopedia Libre. [En línea].- <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>

**Requerimiento:** Algo que se le pide o solicita a alguien. Fuente: Diccionarios del mundo [en línea].- <http://es.wikipedia.org/wiki/Requerimiento>

**Seguridad:** f. Calidad de lo que es o está seguro, 2.- de seguridad loc. adj. Se apl. a ciertos mecanismos que previenen algún riesgo o aseguran el buen funcionamiento de alguna cosa, precaviendo que falle: puerta, cinturón de seguridad. Fuente: Diccionarios del mundo [en línea].- <http://www.elmundo.es/diccionarios>

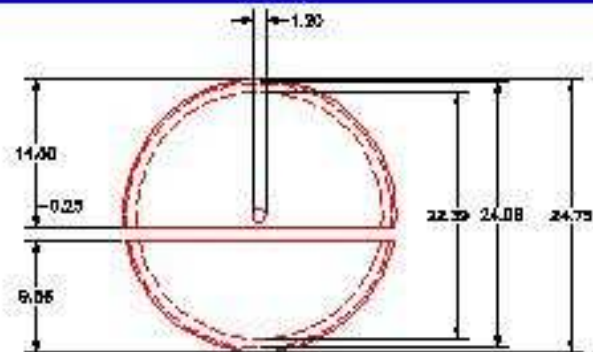
**Técnica de análisis de valor:** Es un método para diseñar o rediseñar un producto de forma que asegure con un costo mínimo todas las funciones que se desean y sean requeridas, este análisis permite incrementar la importancia del rediseño de un producto así como la fabricación en la reducción del costo de un producto, y sobre todo, en el diseño de soluciones. Por lo tanto el análisis de valor es un método ordenado y creativo para aumentar el valor de un "artículo". Éste puede ser un instrumento, un sistema, un proceso, un procedimiento, un plan, una máquina, un equipo, una herramienta, un servicio o un método de trabajo. Un ítem que realiza su función mejor que otro, tiene más valor. El "valor del artículo" puede incluir su atractivo donde este sea necesario. El "análisis de valor", denominado también "análisis funcional", fue creado por L. D. Miles. Fuente: Artículo. Walter Fritz.- Sistemas inteligentes y sus sociedades.- Análisis del valor. [en línea].- <http://www.intelligent-systems.com.ar/intsys/valueAnaSp.htm> , Marzo 07, 2006

**ANEXO 1**

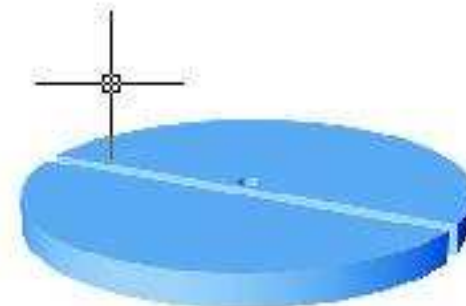
Planos constructivos

En este anexo se encuentran los planos constructivos que ya fueron mencionados anteriormente, y que fueron parte fundamental para la elaboración del prototipo.

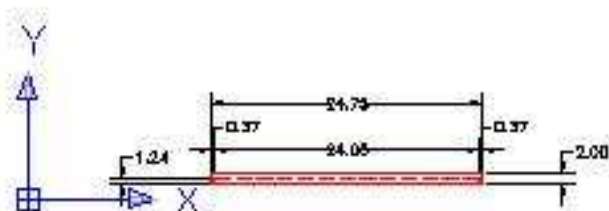




VISTA SUPERIOR



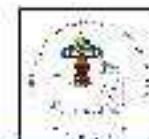
ISOMETRICO



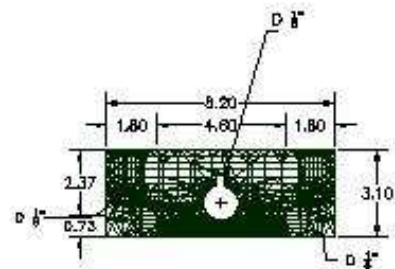
VISTA FRONTAL

**MATERIALES Y EQUIPO**

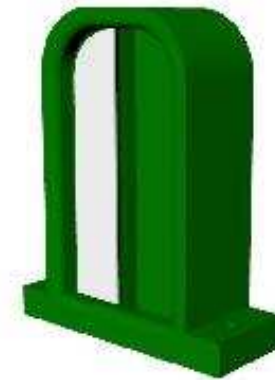
- \* Lamina galvanizada
- \* Tijera para corte de lamina galvanizada
- \* Acrílico de 6mm. de espesor
- \* Dobladora de lamina
- \* Homo de ceramica o bien pistola de aire caliente para plastico
- \* Escuadra.



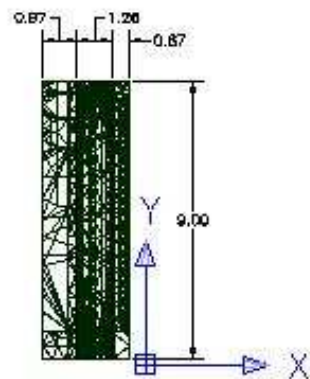
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA  
HABANA

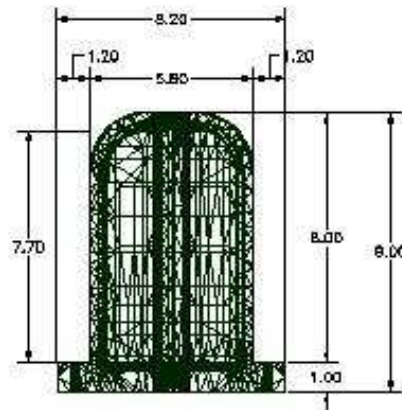
VISTA SUPERIOR



ISOMETRICO



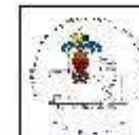
VISTA LATERAL



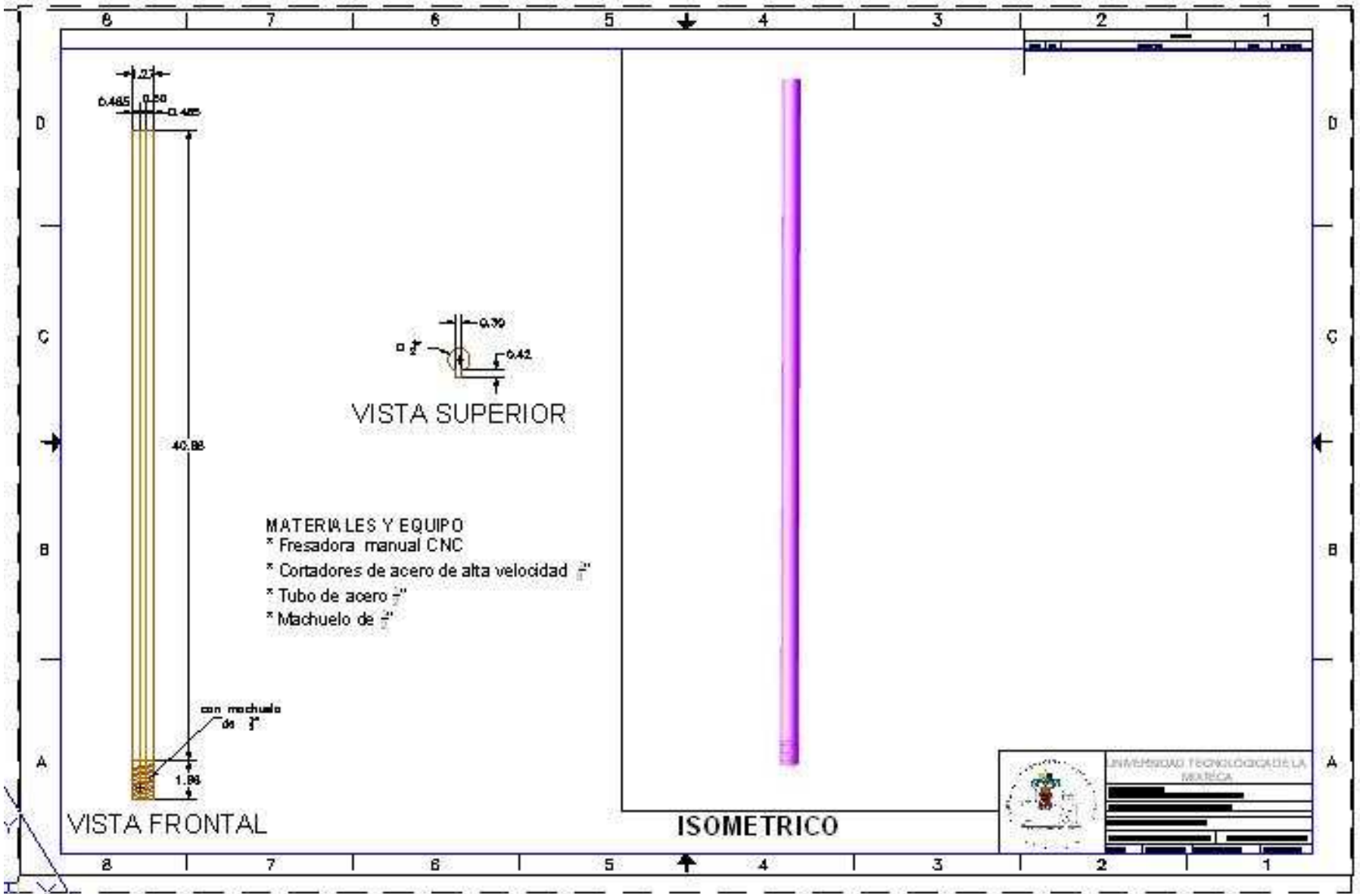
VISTA FRONTAL

**MATERIALES Y EQUIPO**

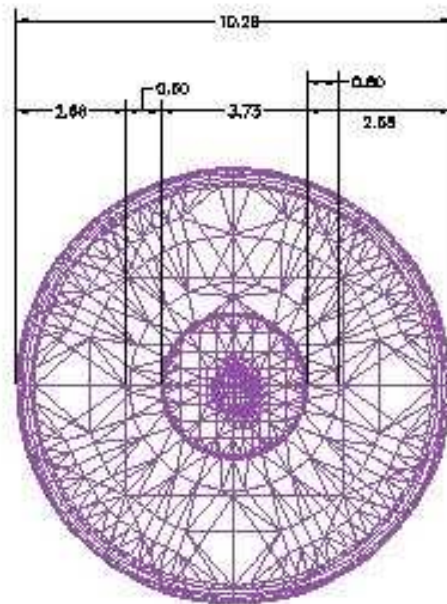
- \* Fresadora CNC
- \* Cortadores de acero de alta velocidad  $\frac{3}{16}$ " Y  $\frac{1}{8}$ "
- \* Acrílico de 19 mm. de espesor.



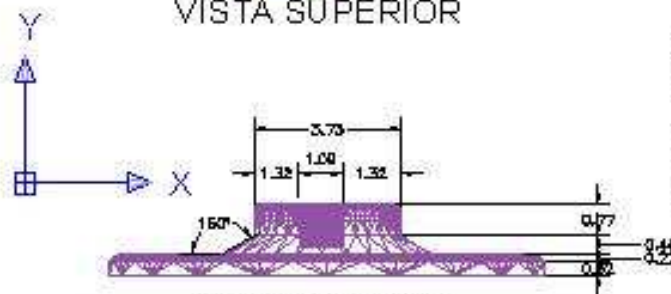
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA





VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



ISOMETRICO

**MATERIALES Y EQUIPO**

- \* Torno manual
- \* Cronómetro digital
- \* Barra de acero dulce de 11 cm. de diámetro y  $\frac{1}{2}$ " de espesor
- \* Cortadores de acero de alta velocidad
- \* Vernier
- \* Machuelo de  $\frac{1}{2}$ "



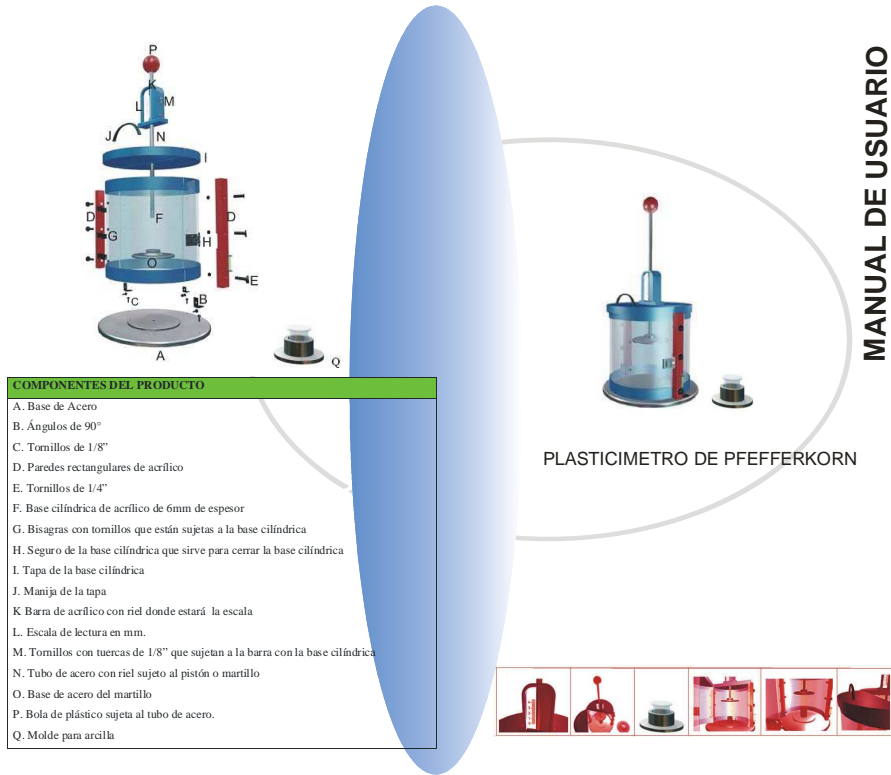
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA  
MATUCA

Nombre	
Apellido	
Código	
Fecha	



## ANEXO 2

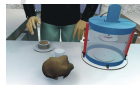
### Manual de Usuario



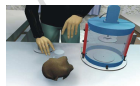
## MANUAL DE USUARIO



- 1. Preparación de la muestra.**  
ejemplo:  
65% de arcilla ----- 35% H<sub>2</sub>O  
39% de arcilla ----- 62% H<sub>2</sub>O  
72% de arcilla ----- 59% H<sub>2</sub>O



- 2. Una vez preparada la muestra** se toma de esta una cantidad de 60 gr a 66 gr y se coloca dentro del molde.



- 3. Presionar la muestra (arcilla-agua)** dentro del molde para que no queden pequeñas burbujas de aire.



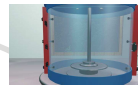
- 4. La muestra es retirada del molde** para ser colocada dentro del modelo funcional.



- 5. Colocar la muestra dentro del prototipo.** Es importante mencionar que el giro de la puerta se coloca al gusto del usuario.



- 7. Activar el seguro del botón** para dejar caer la barra del porta martillo.



- 8. El martillo cae de una altura de 168mm** de altura deformando la muestra (arcilla - agua).



- 9. Se observa en la lectura de la escala** cual es la medida que esta muestra llevo a obtener.



- 10. La muestra es retirada del instrumento** por lo que la barra del martillo se levanta.



- 11. La muestra experimenta una contracción** con respecto a su altura inicial, posteriormente es analizado

### **IMPORTANTE**

El coeficiente de plasticidad es:  $\alpha$

Según K. Pfefferkorn el valor que toma el coeficiente de proporcionalidad establecido por este es que  $2.5 < \alpha < 4.0$ . Una vez que este llegue a cumplirse nos dice que: La pasta contiene una proporción de agua que le confiere una deformabilidad satisfactoria por lo que es agradable para su utilización.

## **ANEXO 3**

### Animación 3D

#### **PLASTICIMETRO DE K. PFEFFERKORN**

- \* Animación 3D
- \* Prototipo



**PRESENTA:**  
EDER MICHEL GOMEZ GARCIA

