

**APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA INVERSA EN LA REPRODUCCIÓN DE UNA
PIEZA PLÁSTICA INYECTADA**

Cristian Albeiro Ospina Pérez

Código: 1.088.300.182

Bryan Yesid Ramírez Tobón

Código: 1.088.305.821

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA
PEREIRA
2015**

**APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA INVERSA EN LA REPRODUCCIÓN DE UNA
PIEZA PLÁSTICA INYECTADA**

Cristian Albeiro Ospina Pérez

Código: 1.088.300.182

Bryan Yesid Ramírez Tobón

Código: 1.088.305.821

**Trabajo de grado para optar el título de:
Tecnólogo Mecánico**

EDGAR ALONSO SALAZAR MARÍN

Director

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE TECNOLOGÍAS

ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA

PEREIRA

2015

Pereira, Mayo 2015

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Pereira, Mayo 2015

DEDICATORIA

Cristian Ospina.

A mis padres y familiares que siempre me apoyaron y depositaron su confianza en mí, brindándome su ayuda incondicionalmente en esta etapa de mi vida, a mis amigos, compañeros, profesores y personas que creyeron en mí. Les agradezco a todas estas personas porque de alguna manera u otra aportaron su granito de arena para cumplir mis sueños y mis metas.

Bryan Ramírez.

A mis padres que de manera especial estuvieron acompañándome durante mi desarrollo y finalización de esta etapa de vida, a mis familiares que también me brindaron sus palabras de aliento para yo seguir prosperando y avanzando durante mi carrera, a los profesores, amigos y compañeros que de una manera u otra me brindaron su mano para culminar este logro y seguir adelante con mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a nuestro director del proyecto Edgar Alonso Salazar por encontrarse siempre en disposición de colaborarnos y atento en nuestros avances, a la empresa Normarh S.A.S por brindarnos su tiempo y espacio en base a nuestros requerimientos, a los profesores Carlos Alberto Montilla y Enrique Isaza por sus aportes y conocimientos que brindaron en el proyecto en etapas determinadas y finalmente a nuestras familias y compañeros que siempre nos apoyaron y creyeron en nosotros.

CONTENIDO

RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	12
1. INGENIERÍA INVERSA	14
1.1 GENERALIDADES DE INGENIERÍA INVERSA	15
1.1.1 Finalidades de la ingeniería inversa	15
1.1.2 Ventajas de la ingeniería inversa	15
1.1.3 Ingeniería inversa Vs proceso tradicional de un producto	15
1.1.4 Aplicaciones y soluciones	17
1.1.4.1 Inspección	17
1.1.4.2 Diseño revertido y aplicación de estilos, diseño y análisis	18
1.1.4.3 Medicina	18
1.1.4.4 Entretenimiento/Multimedia	19
1.1.4.5 Museología/Conservación del patrimonio	20
1.1.5 Áreas de aplicación	20
1.1.5.1 Aplicaciones de la Ingeniería Inversa por industria	20
1.1.5.2 Ejemplos de aplicaciones por materia	21
2. PIEZA PLÁSTICA INYECTADA: “PROBETA DE TRACCIÓN”	22
2.1 PLÁSTICO	22
2.1.1 Propiedades y características	22
2.1.2 Proceso productivo	22
2.1.3 Clasificación de los plásticos	23
2.1.3.1 Termoplásticos	23
2.1.3.2 Termoestables	23
2.1.3.3 Elastómeros o cauchos	23
2.2 PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO	23
2.2.1 La máquina de inyección	23
2.2.1.1 Unidad de cierre o molde	24
2.2.1.2 Unidad de inyección	25
2.2.1.3 La unidad de potencia	25
2.2.1.4 La unidad de control	25
2.2.2 Parámetros de una inyectora	26
2.2.3 Ciclo de moldeo	26
2.2.4 Temperatura de proceso	26
2.2.5 Dimensiones de la máquina	26
2.2.6 Materia prima	27
2.3 PROBETA PLÁSTICA DE TRACCIÓN	27
2.3.1 Ensayo de tracción de plásticos según la norma ASTM D638-10	27
3. DIGITALIZACIÓN MEDIANTE EL ESCÁNER TRIDIMENSIONAL	29

3.1	ESCÁNER TRIDIMENSIONAL	29
3.2	DISPOSITIVOS DE ESCANEEO LASER HANDYSCAN 3D™	30
3.2.1	Handyscan escáner 3D – beneficios	31
3.2.2	Handyscan escáner 3D – aplicaciones	32
3.2.3	Escáneres 3D portátiles – Handyscan 3D nueva generación	33
3.2.3.1	Ventajas	33
3.3	ESCÁNER TRIDIMENSIONAL HANDYSCAN 3DEXASCAN	33
3.3.1	Características	34
3.4	SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS	35
3.4.1	VXelements-software de digitalización 3D-EXAscan	35
3.4.1.1	VXscan	35
3.5	SOFTWARES DE POST-PROCESAMIENTO DE DATOS ESCANEADOS	36
3.5.1	Post-procesamiento mediante software REI (Reverse Engineering Software)	36
3.5.1.1	RapidformXOS	37
3.5.1.2	RapidformXOR	37
3.5.1.3	RapidformXOV	38
3.5.2	Post-procesamiento mediante el software solidworks	39
4.	REPRODUCCIÓN DE LA PIEZA EN LA IMPRESORA TRIDIMENSIONAL	40
4.1	IMPRESORA TRIDIMENSIONAL	40
4.2	IMPRESORA TRIDIMENSIONAL OBJET24	40
4.2.1	Características.	41
4.3	IMPRESIÓN 3D	42
4.3.1	Métodos	42
4.3.1.1	Impresión por inyección	42
4.3.1.2	Modelado por deposición de fundente	43
4.3.1.3	Fotopolimerización	43
4.3.1.4	Impresión con hielo	43
4.4	MATERIALES	44
4.4.1	Vero White Plus RGD 835	44
4.4.2	Full Cure 705	44
4.5	SOFTWARE OBJET STUDIO	44
5.	GENERALIDADES DE METROLOGÍA	45
5.1	APLICACIONES DE LA METROLOGÍA	45
5.2	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	45
5.3	MÁQUINA DE MEDICIÓN DE COORDENADAS (MMC)	46
5.3.1	Sistema de coordenadas de la máquina	46
5.3.2	Características	47
5.3.3	Aplicaciones de la máquina de medición de coordenadas	48
6.	ANÁLISIS DIMENSIONAL DEL PROCESO	49
6.1	APLICACIÓN DE INGENIERÍA INVERSA	49
6.1.1	Diagrama de flujo	56

6.2 COMPARACIÓN DIMENSIONAL	58
6.2.1 Medición de las piezas	58
6.2.2 Comparación de cada medida correspondiente de las dos piezas	58
6.2.3 Comparación dimensional con ayuda de solidworks	61
6.2.4 Diferencias entre la comparación dimensional y la realizada en solidworks	62
7. RESULTADOS	63
7.1 COMPARACIÓN DIMENSIONAL ENTRE LA PROBETA INYECTADA CON LA REPRODUCIDA	63
7.2 COMPARACIÓN DIMENSIONAL ENTRE LA NORMA ASTM D638-10 CON LA PROBETA INYECTADA	63
7.3 COMPARACIÓN DIMENSIONAL ENTRE LA NORMA ASTM D638-10 CON LA PROBETA REPRODUCIDA	63
7.4 COMPARACIÓN DIMENSIONAL EN SOLIDWORKS	64
7.5 FIABILIDAD DEL PROCESO DE LA APLICACIÓN DE INGENIERÍA INVERSA	64
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	68
ANEXO A	70
ANEXO B	71
ANEXO C	72
ANEXO D	73

CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Aplicación de ingeniería inversa mediante equipos de digitalización	14
Figura 2. Esquema de proceso tradicional de un producto vs ingeniería inversa	16
Figura 3. Ingeniería directa vs ingeniería inversa	16
Figura 4. Inspección con dispositivos de escaneo laser	17
Figura 5. Diseño revertido y aplicación de estilos, diseño y análisis con el escáner 3D	18
Figura 6. Aplicación de la ingeniería inversa en la medicina	19
Figura 7. Aplicación de la ingeniería inversa en entretenimiento/multimedia	19
Figura 8. Aplicación de la ingeniería inversa en museología/conservación del patrimonio	20
Figura 9. Componentes principales de una inyectora	24
Figura 10. Sistema de accionamiento de la unidad de cierre	24
Figura 11. Unidad de inyección de una inyectora de plásticos	25
Figura 12. Medidas de la probeta según la norma ASTM D638-10	28
Figura 13. Tipos de digitalización 3D	29
Figura 14. Escaneo tridimensional	30
Figura 15. Escáner tridimensional handyscan 3D exascan	34
Figura 16. Aplicación rapidform (XOS, XOR y XOY)	36
Figura 17. RapidformXOS	37
Figura 18. RapidformXOR	38
Figura 19. RapidformXOY	39
Figura 20. Impresora 3D Objet24	41
Figura 21. Máquina de medición de coordenadas	46
Figura 22. Sistema de coordenadas de la máquina	47
Figura 23. Inyectora de plásticos	49
Figura 24. Molde de probetas de tracción	50
Figura 25. Bandeja de calibración del escáner 3D	51
Figura 26. Calibración del escáner 3D	51
Figura 27. Digitalización de la probeta con el escáner 3D	52
Figura 28. Nube de puntos y limpieza de los datos obtenidos por el escáner	53
Figura 29. Complemento del post-procesamiento con solidworks	53
Figura 30. posicionamiento de la pieza en el software de la impresora 3D	54
Figura 31. Reproducción de la pieza	54
Figura 32. Remoción del material soporte de la pieza reproducida	55
Figura 33. Toma de medidas con la máquina de medición de coordenadas	55
Figura 34. Probeta inyectada y probeta reproducida	58
Figura 35. Comparación geométrica realizada en solidworks	61

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Características del escáner tridimensional exascan	34
Tabla 2. Características de la impresora 3D Objet24	41
Tabla 3. Características de la máquina de medición de coordenadas	47
Tabla 4. Comparación dimensional de cada cota, diferencias de medida y porcentaje de diferencia o error (probeta inyectada vs probeta reproducida)	59
Tabla 5. Comparación dimensional de cada cota, diferencias de medida y porcentaje de diferencia o error (probeta inyectada vs norma ASTM D638-10)	60
Tabla 6. Comparación dimensional de cada cota, diferencias de medida y porcentaje de diferencia o error (probeta reproducida vs norma ASTM D638-10)	60

RESUMEN

El siguiente trabajo expone el estudio de la aplicación de la ingeniería inversa en la reproducción de una pieza plástica inyectada.

La ingeniería inversa tiene como objetivo determinar las características y funciones de un proceso, sistema o componente para reproducirlo y, en lo posible, mejorarlo.

Dicha aplicación se realiza a una pieza plástica (probeta de tracción), la cual se digitaliza por medio de un escáner tridimensional, se procede a la utilización de un software de post-procesamiento, el cual captura y procesa los datos generados por el escáner, obteniendo un modelo CAD. El archivo en modelo CAD se guarda en un tipo de documento compatible con el de las impresoras tridimensionales con el propósito de poder reproducirlo.

Por último se realiza una comparación dimensional de la pieza plástica inyectada con la reproducida por la impresora tridimensional mediante una máquina de medición de coordenadas, con el fin de comprobar la fiabilidad del proceso realizado.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería inversa no es sólo el proceso de cambio o creación de un sistema, basándose en la regresión del objeto, es un proceso de análisis, validación y reconocimiento de los mecanismos de diseño y construcción de los componentes del sistema. La copia de modelos sin necesidad de planos y hasta para la evaluación de conformidad de modelos CAD 3D con modelos originales o pruebas de manufactura ha originado que las investigaciones actuales avancen constantemente para mejorar en el campo de las tecnologías.

La integración entre el diseño y la manufactura mediante las técnicas CAD/CAM ha permitido el desarrollo de productos en forma rápida, óptima y eficiente. Otra integración importante es la que se da entre los equipos de digitalización, equipos de reproducción 3D y los sistemas CAD. Hoy es posible pasar, en forma automática (a través de intercambio de información computacional) de la información obtenida de un equipo de digitalización a un impresora tridimensional, de una máquina de medición por coordenadas a un sistema CAD. La ingeniería inversa de partes y componentes es una de las áreas de la ingeniería que más se ha beneficiado con la integración de estas disciplinas o tecnologías, pudiéndose decir también que ha hecho surgir la metrología como programa de investigación (o una serie de programas) que tienen dos objetivos principales: por un lado genera la información dimensional de los componentes (producto de referencia) y, por otro lado, valida la configuración del duplicado. La metrología es esencial dentro de la ingeniería inversa orientada a la copia de partes y componentes, pues genera la información dimensional primaria de los mismos, la cual, posteriormente es tratada, refinada y validada.

El objetivo general del proyecto es aplicar el concepto de ingeniería inversa a una pieza plástica inyectada a través de la digitalización, post-procesado y reproducción de otra pieza mediante prototipado rápido.

Los objetivos específicos del proyecto son:

- Determinar mediante revisión bibliográfica la tendencia actual en relación a la aplicación de la ingeniería inversa.
- Seleccionar una pieza base del proyecto que tenga una aplicación definida.
- Digitalizar la pieza empleando el escáner tridimensional.
- Aplicar post-procesamiento a los datos escaneados de la pieza.
- Reproducir la pieza en la impresora tridimensional.
- Hacer una comparación dimensional de la pieza construida por prototipado rápido con la original.

La Ingeniería Inversa nació a principios de la década de los noventa como una tecnología basada en el descubrimiento del saber cómo se logró un producto, cuáles son sus dimensiones, tolerancias, cuál es su diseño y como funciona, a

partir de un producto existente, sin la colaboración de planos o modelos. En la actualidad, la ingeniería inversa es un método válido para la creación o recreación de nuevos productos a partir de productos existentes y a veces obsoletos, con el fin de determinar sus características, funciones, detalles de diseño, construcción y operación, para reproducirlo y en lo posible mejorarlo.

La tecnología de escaneo tridimensional ha venido evolucionando desde hace casi 25 años con resultados muy notorios. Esta tecnología está basada en dos vertientes: la primera, es la captura de los datos a través de cámaras, laser u otras tecnologías ópticas, la segunda, es la conversión de los datos digitalizados en superficies paramétricas, medibles, editables y reproducibles a través de software CAE.

1. INGENIERÍA INVERSA

La ingeniería inversa consiste en una serie de procesos que determinan los principios tecnológicos de un dispositivo, objeto o sistema, con el fin de determinar de qué está hecho, cómo fue fabricado y su funcionamiento.

Es una estrategia de ingeniería aplicada a la reproducción, copiado, sustitución de partes, diseño de nuevos productos, modificación de diseños, inspección industrial, documentación de diseños, desarrollo de información para la manufactura, entre otras. En la Figura 1 se puede observar la aplicación de la ingeniería inversa con un equipo de digitalización, es una metodología de rediseño que puede aplicarse a un producto existente, a un prototipo o un concepto detallado. Es un proceso que utiliza una variedad de técnicas en formas de modelos, esquemas, pautas y teorías normativas para diseccionar y entender completamente un producto. Formulada concisamente, la ingeniería inversa inicia el proceso de rediseño de un producto, donde este es observado, desensamblado, analizado y documentado, en términos de su funcionalidad, forma, principios físicos, manufacturabilidad y ensamblabilidad. La intención de este proceso es entender y representar completamente el estado actual del producto. [7]

La ingeniería inversa no es sólo el proceso de cambio o creación de un sistema, basándose en la regresión del objeto, es un proceso de análisis, validación y reconocimiento de los mecanismos de diseño y construcción de los componentes del sistema. El objetivo de la ingeniería inversa es obtener información o un diseño a partir de un producto que existe que sea accesible al público, con el fin de determinar de qué está hecho, qué lo hace funcionar y cómo fue fabricado. [3]

Figura 1. Aplicación de Ingeniería Inversa mediante equipos de digitalización



Fuente. Propuesta de Integración y Fortalecimiento Tecnológico “LABORATORIO DE INGENIERIA INVERSA - Escáner 3D”. Luis Eduardo Díaz. (Solteco)

1.1 GENERALIDADES DE INGENIERÍA INVERSA

1.1.1 Finalidades de la ingeniería inversa. Los aspectos a mencionar son la estructura fundamental que compone la ingeniería inversa.

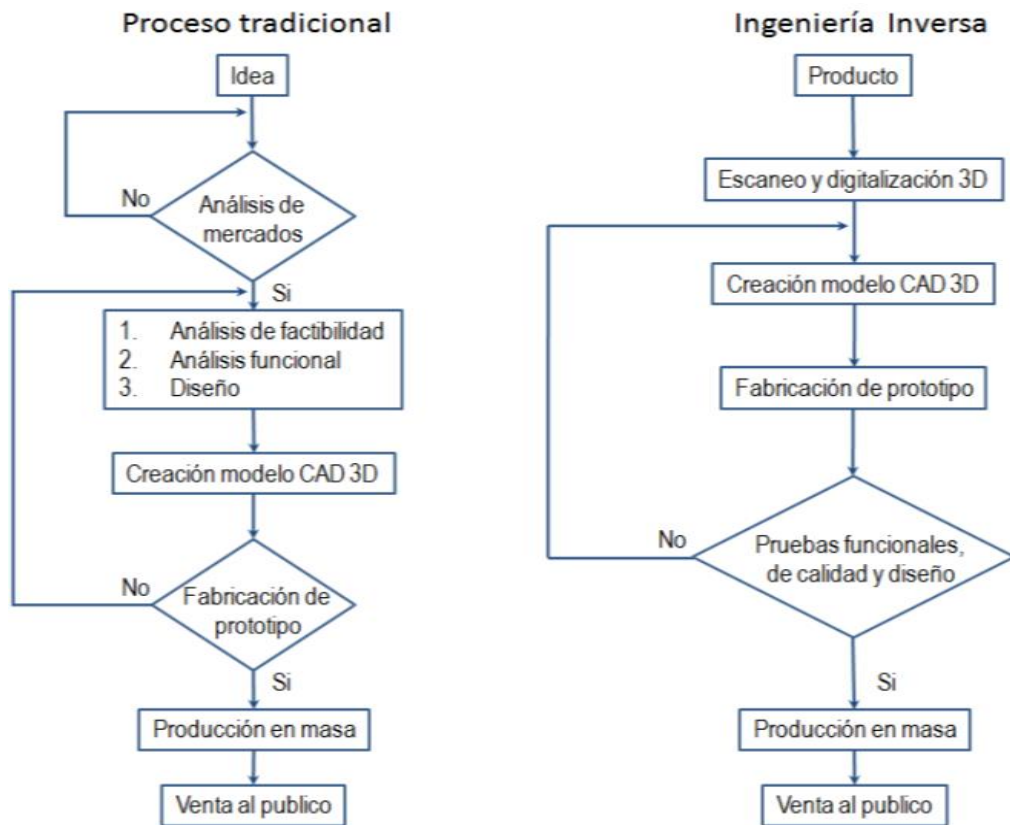
- Digitalización de objetos de cualquier tamaño en diversos entornos.
- Creación de archivos digitales 3D a partir de objetos existentes.
- Evaluación de conformidad de los modelos CAD 3D con las partes originales o el mecanizado en producción (Informes de inspección y colorimétricos en diferentes formatos).
- Reconstrucción y modelado de superficies clase A.
- Estudios de estilo.
- Realizar la producción en serie de algún producto del cual no se tengan medidas.
- Diseño de partes y ensambles, mecanizado y guías.
- Modelado en 3D paramétricos y no paramétricos.
- Control de calidad de producto.
- Evaluación de un producto respecto a limitaciones, diseño, tamaño, etc.
- Entender el funcionamiento de un producto.
- Mejorar el funcionamiento de un producto o modelo.
- Comparaciones con el mercado.

1.1.2 Ventajas de la ingeniería inversa. Los atributos y superioridad de la ingeniería inversa se ven reflejada en los siguientes aspectos.

- Mayor precisión en la captura de datos, dimensiones, tolerancias, etc.
- Menor tiempo en la captura de datos (escaneado).
- Mejoramiento en los procesos y calidad del producto.
- Incremento de la productividad en desarrollo de nuevos y diferentes diseños de producto.
- Verificación rápida de medidas mediante un modelo CAD vs un modelo real.
- Disminución en el tiempo de lanzamiento de un producto al mercado.
- Control dimensional (Control de calidad).

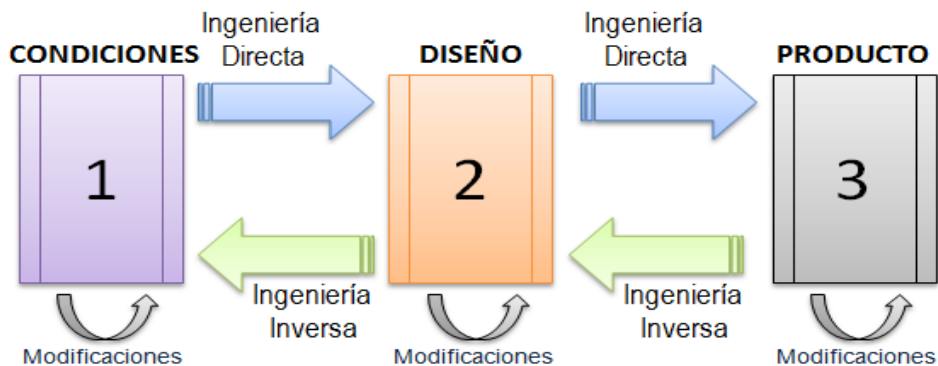
1.1.3 Ingeniería inversa Vs proceso tradicional de un producto. El proceso tradicional de un producto parte desde una idea y unas condiciones, luego a un diseño y finalmente a la fabricación del producto. La ingeniería inversa puede ser vista como el rediseño de un producto en sentido contrario de la ingeniería directa. Como se puede ver en los siguientes esquemas: (figura 2 y figura 3).

Figura 2. Esquema de Proceso tradicional de un producto vs Ingeniería Inversa



Fuente. Propuesta de Integración y Fortalecimiento Tecnológico “LABORATORIO DE INGENIERIA INVERSA - Escáner 3D”. Luis Eduardo Díaz. (Solteco)

Figura 3. Ingeniería directa vs ingeniería inversa

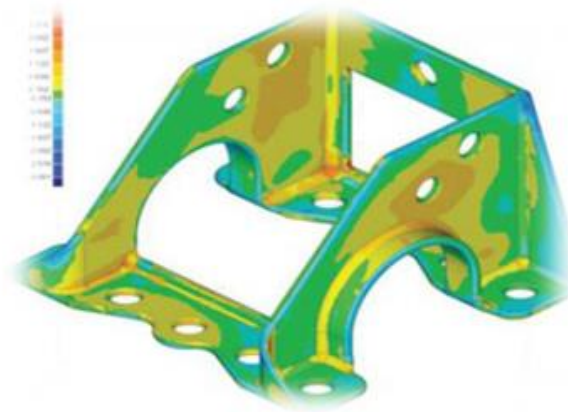


Fuente. Propuesta de Integración y Fortalecimiento Tecnológico “LABORATORIO DE INGENIERIA INVERSA - Escáner 3D”. Luis Eduardo Díaz. (Solteco)

1.1.4 Aplicaciones y soluciones. Es muy amplio el campo en el cual podemos aplicar ingeniería inversa, como es el caso de la biotecnología que cada vez está generando más confiabilidad con respecto a los resultados que se están dando con sus aplicaciones, ya que mejoran aspectos en calidad de funcionalidad y reducen los costos y tiempo de obra.

1.1.4.1 Inspección. Los dispositivos de escaneo laser son la herramienta perfecta de inspección para analizar y reportar mediciones de dimensiones geométricas y ajustes de tolerancias (GD&T). Los archivos *.STL directos que produce pueden ser importados fácilmente en aplicaciones de inspección y procesados rápidamente. Se puede observar la aplicación de inspección en la Figura 4.

Figura 4. Inspección con dispositivos de escaneo laser



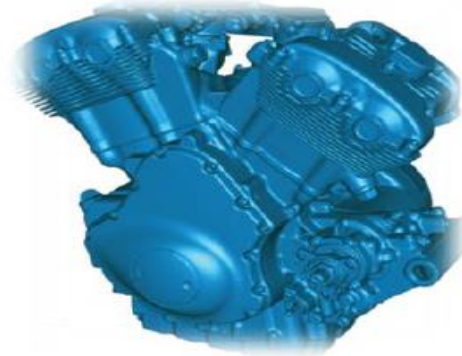
Fuente. Propuesta de Integración y Fortalecimiento Tecnológico “LABORATORIO DE INGENIERIA INVERSA - Escáner 3D”. Luis Eduardo Díaz. (Solteco)

Estos dispositivos pueden ayudarle con el escaneo y la medición de objetos de cualquier tamaño en varios ambientes, generando reportes de inspección colorimétricos, así como:

- Inspección sin contacto
- Inspección de primer articulo
- Inspección de calidad del proveedor
- Inspección de diseño asistido por computador (CAD)
- Evaluación de conformidad de modelos 3D vs las piezas originales/producción de herramientas
- Evaluación de conformidad de piezas fabricadas versus las piezas originales.

1.1.4.2 Diseño revertido y aplicación de estilos, diseño y análisis. Los dispositivos de escaneo laser satisfacen la necesidad de creación o recreación de nuevos diseños con base en productos y componentes existentes y a veces obsoletos, o aun piezas antiguas que podrían haber sido desarrolladas sin el uso de aplicaciones de diseño asistido por computador (CAD). Estos dispositivos son una herramienta eficiente para acelerar y facilitar los procesos de diseño, creación y análisis de prototipos de productos y reducir a la vez los costos relacionados. Se puede observar en la figura 5.

Figura 5. Diseño revertido y aplicación de estilos, diseño y análisis con el escáner 3D



Fuente. Propuesta de Integración y Fortalecimiento Tecnológico “LABORATORIO DE INGENIERIA INVERSA - Escáner 3D”. Luis Eduardo Díaz. (Solteco)

Los dispositivos de escaneo laser HandyScan para tareas tales como:

- Reconstrucción de superficies
- Delineación de superficies clase A
- Modelado tridimensional
- Diseño mecánico
- Digitalización de modelos en arcilla
- Desarrollo de herramientas y sujetadores
- Mantenimiento, reparación y reacondicionamiento (Maintenance, Repair, Overhaul – MRO)
- Análisis de elementos finitos (FEA).

1.1.4.3 Medicina. Proceso sin contacto y no invasivo. En la Figura 6 se puede apreciar la generación de archivos digitales tridimensionales de partes del cuerpo u objetos existentes, dispositivos de ortopedia y prótesis, estética y cirugía

plástica, mediciones de partes del cuerpo, así como reproducciones, diagnósticos y seguimientos. [3]

Figura 6. Aplicación de la ingeniería inversa en la medicina



Fuente. Propuesta de Integración y Fortalecimiento Tecnológico “LABORATORIO DE INGENIERIA INVERSA - Escáner 3D”. Luis Eduardo Díaz. (Solteco)

1.1.4.4 Entretenimiento/Multimedia. Digitalización de rostro/cuerpo para obtener una representación humana realista, efectos especiales o para reemplazar rostros (dobles). Digitalización de objetos/entornos reales inanimados para un efecto de realismo óptimo, producción de decorados a escala real con la digitalización de maquetas a pequeña escala [3]. Esta aplicación se ve ilustrada en la Figura 7.

Figura 7. Aplicación de la ingeniería inversa en Entretenimiento/Multimedia



Fuente. Propuesta de Integración y Fortalecimiento Tecnológico “LABORATORIO DE INGENIERIA INVERSA - Escáner 3D”. Luis Eduardo Díaz. (Solteco)

1.1.4.5 Museología/Conservación del patrimonio. En la Figura 8 se puede observar la representación de piezas de arte para presentaciones multimedia, museos virtuales (formato web o en espacios físicos), archivado digital, producción de réplicas con propósitos comerciales y de marketing (versiones a pequeña escala de estatuas), evaluación de daños, restauración de patrimonio cultural (ingeniería inversa/reparaciones a partir de restos), restauración virtual, reproducción 3D de sitios arqueológicos/históricos, digitalización de fósiles, digitalización de fósiles con propósitos de análisis (con fines de reconstitución y reconstrucción). [3]

Figura 8. Aplicación de la ingeniería inversa en Museología/Conservación del patrimonio



Fuente. Propuesta de Integración y Fortalecimiento Tecnológico “LABORATORIO DE INGENIERIA INVERSA - Escáner 3D”. Luis Eduardo Díaz. (Solteco)

1.1.5 Áreas de aplicación. En general aquellas empresas y organizaciones que realizan sus actividades en sectores como el arte, los productos de consumo, la conservación del patrimonio y arquitectura, automotriz, aeronáutico y fluvial, la fabricación de piezas y maquinaria industrial, la medicina, las aplicaciones multimedia/web y la educación entre otros.

1.1.5.1 Aplicaciones de la Ingeniería Inversa por industria. A continuación se mencionan los siguientes campos en que la ingeniería inversa puede intervenir con respecto a la industria.

- Ingeniería Mecánica
- Ingeniería Mecatrónica
- Ingeniería Industrial
- Ingeniería Electrónica
- Ingeniería Electromecánica

- Ingeniería Biomédica
- Ingeniería de Petróleos
- Ingeniería Aeronáutica
- Ingeniería Metalúrgica
- Ingeniería de Diseño y Automatización
- Ingeniería de diseño de producto
- Diseño Industrial
- Ingeniería de multimedia
- Diseño gráfico y animaciones 3D

1.1.5.2 Ejemplos de aplicaciones por materia. Algunas de las diferentes aplicaciones de la ingeniería inversa en las que se puede acudir se mencionaran a continuación.

- Diseño de máquinas y mecanismos
- Elementos de máquinas
- Robótica
- Diseño de producto
- Procesos de manufactura
- Diseño asistido por computador CAD
- Diseño mecatrónico
- Estructuras aeronáuticas
- Animaciones 3D
- Diseño de aeronaves
- Sistemas hidroneumáticos
- Modelación geométrica
- Dibujo Técnico.

2. PIEZA PLÁSTICA INYECTADA: “PROBETA DE TRACCIÓN”

2.1 PLÁSTICO

Los plásticos son materiales poliméricos orgánicos que se pueden moldear con ayuda de presión y calor. Pueden modificar su forma de manera permanente y son bastante resistentes a la degradación y, a la vez, son livianos. Poseen, durante un intervalo de temperaturas, propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones para fabricar una amplia gama de productos.

2.1.1 Propiedades y características

Los plásticos son sustancias químicas sintéticas denominadas polímeros, de estructura macromolecular que puede ser moldeada mediante calor o presión y cuyo componente principal es el carbono. Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un proceso químico llamado polimerización. Los plásticos proporcionan el balance necesario de propiedades que no pueden lograrse con otros materiales por ejemplo: color, poco peso, tacto agradable y resistencia a la degradación ambiental y biológica.

De hecho, plástico se refiere a un estado del material, pero no al material en sí: los polímeros sintéticos habitualmente llamados plásticos, son en realidad materiales sintéticos que pueden alcanzar el estado plástico, esto es cuando el material se encuentra viscoso o fluido, y no tiene propiedades de resistencia a esfuerzos mecánicos.

Las propiedades y características de la mayoría de los plásticos (aunque no siempre se cumplen en determinados plásticos especiales) son:

- Fáciles de trabajar y moldear
- Tienen un bajo costo de producción
- Poseen baja densidad
- Suelen ser impermeables
- Buenos aislantes eléctricos
- Aceptables aislantes acústicos
- Buenos aislantes térmicos, aunque la mayoría no resisten temperaturas muy elevadas
- Resistentes a la corrosión y a muchos factores químicos
- Algunos no son biodegradables ni fáciles de reciclar, y si se queman son muy contaminantes.

2.1.2 Proceso productivo. La primera parte de la producción de plásticos consiste en la elaboración de polímeros en la industria química. Parte de los plásticos determinados por la industria se usan directamente en forma de grano o resina. Más frecuentemente, existen varias formas de procesado de plásticos. Una

de ellas es la extrusión de perfiles o hilos, la cual permite generar un producto extenso y continuo.

Otra forma de procesamiento es por moldeo (por inyección, compresión, rotación, inflación, etc.). También existe el termoconformado, un proceso que usa un material termoplástico previamente producido a través del procesamiento de extrusión. [6]

2.1.3 Clasificación de los plásticos. Según su comportamiento frente al calor, los plásticos se dividen:

2.1.3.1 Termoplásticos. Un termoplástico es un plástico que, a temperatura ambiente, es plástico o deformable, se convierte en un líquido cuando se calienta y se endurece en un estado vítreo cuando se enfría suficiente. Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables en que después de calentarse y moldearse éstos pueden recalentarse y formar otros objetos, ya que en el caso de los termoestables o termoduros, su forma después de enfriarse no cambia y este prefiere incendiarse.

2.1.3.2 Termoestables. Los plásticos termoestables son materiales que una vez que han sufrido el proceso de calentamiento-fusión y formación-solidificación, se convierten en materiales rígidos que no vuelven a fundirse.

2.1.3.3 Elastómeros o cauchos. Los elastómeros se caracterizan por su gran elasticidad y capacidad de estiramiento y rebote, recuperando su forma original una vez que se retira la fuerza que los deformaba. [6]

2.2 PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO

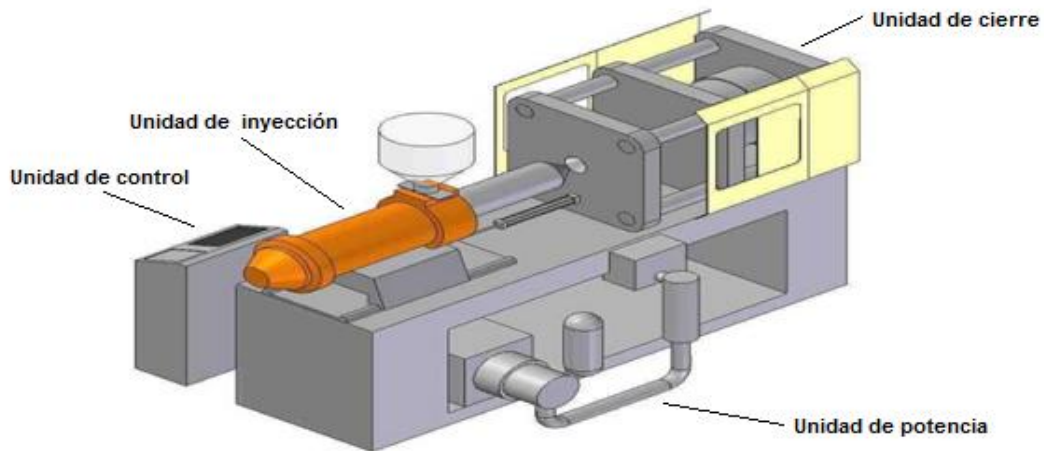
Este proceso es el más utilizado en la transformación de los plásticos. Por sus altos niveles de producción y bajos costos. Es fundir un material plástico y hacerlo fluir hacia un molde, a través de una boquilla en la máquina de inyección, en donde llena una cavidad que le da una forma determinada permitiendo obtener una amplia variedad de productos. [17]

2.2.1 La máquina de inyección. Una máquina inyectora es un equipo capaz de plastificar el material polimérico y bombearlo hacia un molde en donde llena una cavidad y adquiere la forma del producto deseado.

Una inyectora se compone de cuatro unidades principales. Se puede ver ilustrado en la Figura 9.

1. La unidad de cierre o molde
2. La unidad de inyección
3. La unidad de potencia
4. La unidad de control.

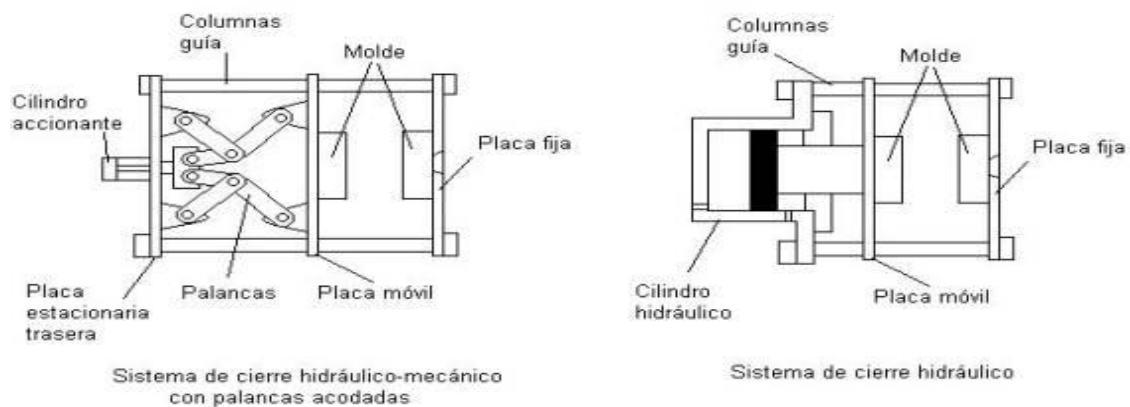
Figura 9. Componentes principales de una inyectora



Fuente. Diseño de moldes de inyección de termoplásticos, Carlos Trujillo, 2003.

2.2.1.1 Unidad de cierre o molde. Consiste de una prensa conformada por dos placas portamoldes, una móvil y otra fija. El sistema de accionamiento de la placa móvil puede ser un mecanismo de palancas acodadas, accionado hidráulicamente, un cilindro hidráulico o un sistema eléctrico de tornillo sin fin accionado por un motor. El parámetro fundamental para dimensionar una unidad de cierre es su fuerza para mantener el molde cerrado. Usualmente se da este valor en toneladas (ton). En la Figura 10 se puede observar el sistema de accionamiento de la unidad de cierre. [17]

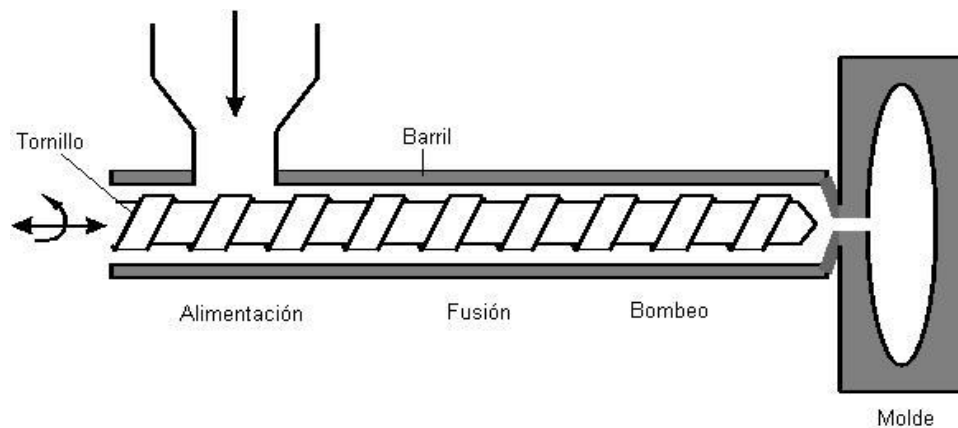
Figura 10. Sistema de accionamiento de la unidad de cierre



Fuente. Diseño de moldes de inyección de termoplásticos, Carlos Trujillo, 2003.

2.2.1.2 Unidad de inyección. En la Figura 11 se puede observar la unidad de inyección, está conformada por el tornillo y el barril de inyección, la boquilla y las resistencias alrededor del barril. El material sólido ingresa por la tolva a la zona de alimentación del tornillo, en esta zona es transportado, por efecto de la rotación del tornillo dentro del barril, hacia la zona de fusión donde se plastifica; finalmente el material es bombeado hacia la parte delantera del tornillo en la zona de dosificación. Durante el proceso de plastificación del material el tornillo gira constantemente. Cuando se va a realizar la inyección hacia el molde, el tornillo deja de girar y actúa a manera de pistón, haciendo fluir el plástico fundido hacia el molde y llenando las cavidades. [17]

Figura 11. Unidad de inyección de una inyectora de plásticos



Fuente. Diseño de moldes de inyección de termoplásticos, Carlos Trujillo, 2003.

2.2.1.3 La unidad de potencia. Es el sistema que suministra la potencia necesaria para el funcionamiento de la unidad de inyección y de la unidad de cierre. Los principales tipos de sistemas de potencia se pueden clasificar como.

- Sistema de motor eléctrico con unidad reductora de engranajes
- Sistema de motor hidráulico con unidad reductora de engranajes
- Sistema hidráulico directo

2.2.1.4 La unidad de control. Este sistema básicamente contiene un controlador lógico programable (PLC) y controladores PID para las resistencias eléctricas del barril y de la boquilla. El PLC permite programar la secuencia del ciclo de inyección y recibe señales de alarma, por sobrepresión o finales de carrera, para detener el ciclo. Los controladores PID son los más adecuados para el control de temperatura debido a su elevada velocidad de respuesta para mantener la temperatura a los niveles requeridos. [17]

2.2.2 Parámetros de una inyectora. Las principales características utilizadas para dimensionar y comparar máquinas inyectoras son:

- Capacidad o fuerza de cierre: usualmente se da en toneladas (ton)
- Capacidad de inyección: es el volumen de material que es capaz de suministrar la máquina en una inyección ($\text{cm}^3/\text{inyección}$).
- Presión de inyección: es la presión máxima a la que puede bombear la unidad de inyección el material hacia el molde.
- Capacidad de plastificación: es la cantidad máxima de material que es capaz de suministrar el tornillo, por hora, cuando plastifica el material; se da en kg/h.
- Velocidad de inyección: es la velocidad máxima a la cual puede suministrar la unidad de inyección el material hacia el molde; se da en cm^3/s . [17]

2.2.3 Ciclo de moldeo. En el ciclo de moldeo tiene 6 pasos principales:

1. Molde cerrado y vacío. La unidad de inyección carga material y se llena de polímero fundido.
2. Se inyecta el polímero abriéndose la válvula y, con el husillo que actúa como un pistón, se hace pasar el material a través de la boquilla hacia las cavidades del molde.
3. La presión se mantiene constante para lograr que la pieza tenga las dimensiones adecuadas, pues al enfriarse tiende a contraerse.
4. La presión se elimina. La válvula se cierra y el husillo gira para cargar material; al girar también retrocede.
5. La pieza en el molde termina de enfriarse (este tiempo es el más caro pues es largo e interrumpe el proceso continuo), la prensa libera la presión y el molde se abre; las barras expulsan la parte moldeada fuera de la cavidad.
6. La unidad de cierre vuelve a cerrar el molde y el ciclo puede reiniciarse. [8]

2.2.4 Temperatura de proceso. Para inyectar un polímero, específicamente un termoplástico, es necesario conocer su temperatura de transición vítrea (T_g) y su temperatura de fusión de la región cristalina (T_m), si es un polímero semicristalino.

La temperatura de operación de cada termoplástico no es estándar, y varía según el proveedor (de acuerdo con el peso molecular, ramificación del polímero, polidispersidad y aditivos). De acuerdo el índice de fluidez, la temperatura de trabajo, que además es un rango de temperaturas, y la temperatura de degradación, con lo cual se obtiene un intervalo dentro del cual se puede trabajar el material eficientemente. [8]

2.2.5 Dimensiones de la máquina. La efectividad de una máquina de inyección se basa en la cantidad de presión que esta pueda generar, por dos razones principales:

- Incrementando la presión se puede inyectar más material
- Incrementando la presión se puede disminuir la temperatura, que se traduce en menor costo de operación.

Las máquinas se venden dependiendo de su fuerza de cierre expresada en toneladas, y van desde 10 Toneladas las más pequeñas, hasta 4.400 Toneladas las de mayor capacidad.

Aunque las dimensiones de la máquina dependen principalmente de la cantidad de polímero que se necesita para llenar la pieza deseada. Las principales características para determinar las dimensiones de una máquina son:

- La capacidad de cierre
- Dimensiones del molde
- Carrera o recorrido del molde
- Presión de inyección
- Capacidad volumétrica de inyección
- Características de plastificado
- Velocidad de inyección. [8]

2.2.6 Materia prima. Dependiendo del tipo de material a utilizar se determina los parámetros de inyección como la transferencia, la temperatura, la velocidad, el acabado de la pieza, etc. El más utilizado es el polipropileno, es un polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno.

2.3 PROBETA PLÁSTICA DE TRACCIÓN

El objetivo principal que tiene una probeta plástica de tracción es determinar las propiedades mecánicas de los plásticos (módulo de elasticidad, límite de proporcionalidad, límite de fluencia, límite elástico, etc.), las características y el comportamiento del plástico varían dependiendo del tipo de plástico. Estas propiedades se calculan mediante un ensayo de tracción, sometiendo la probeta a cargas impulsivas de tracción por medio del método de elementos finitos, proporcionando las curvas de esfuerzo-deformación, se predice el esfuerzo en la cual el material tiene deformación elástica y plástica, o el punto de esfuerzo donde presenta la rotura del material.

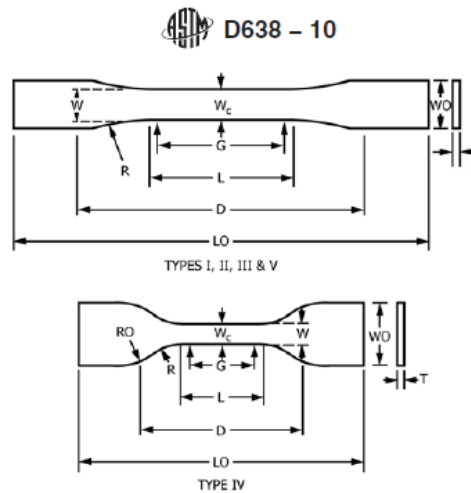
2.3.1 Ensayo de tracción de plásticos según la norma ASTM D638-10

Las normas de ensayo de tracción de plásticos, tal como ASTM D638 y ISO 527-2, cubren una gama de plásticos incluyendo los termoestables, termoplásticos y plásticos reforzados con fibras. Las probetas de ensayo pueden ser rígidas,

semirrígidas, moldeadas o extruidas y comúnmente en forma de pesa de gimnasio.

Las propiedades mecánicas de materiales plásticos varían dependiendo del tipo de plástico, así como de los aditivos que pueden ser incorporados en la formulación. Propiedades, tales como dureza, ductilidad y resistencia, están influenciadas por diferentes tipos de aditivos. Para determinar el equipo de ensayo adecuado, es importante entender como el material cambia de comportamiento como consecuencia de los aditivos añadidos. [4] En la Figura 12 se puede observar las medidas de la probeta estandarizada y las tolerancias permitidas según la norma ASTM D638-10.

Figura 12. Medidas de la probeta según la norma ASTM D638-10



Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.)^A

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl		4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}		
W —Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	$\pm 0.5 (\pm 0.02)^{B,C}$	
L —Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	$\pm 0.5 (\pm 0.02)^C$	
WO —Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)	
WO —Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO —Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)	
G —Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	$\pm 0.25 (\pm 0.010)^C$	
G —Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	$\pm 0.13 (\pm 0.005)$
D —Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	$\pm 5 (\pm 0.2)$	
R —Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	$\pm 1 (\pm 0.04)^C$	
RO —Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	$\pm 1 (\pm 0.04)$

Fuente. Norma ASTM D638-10

3. DIGITALIZACIÓN MEDIANTE EL ESCÁNER TRIDIMENSIONAL

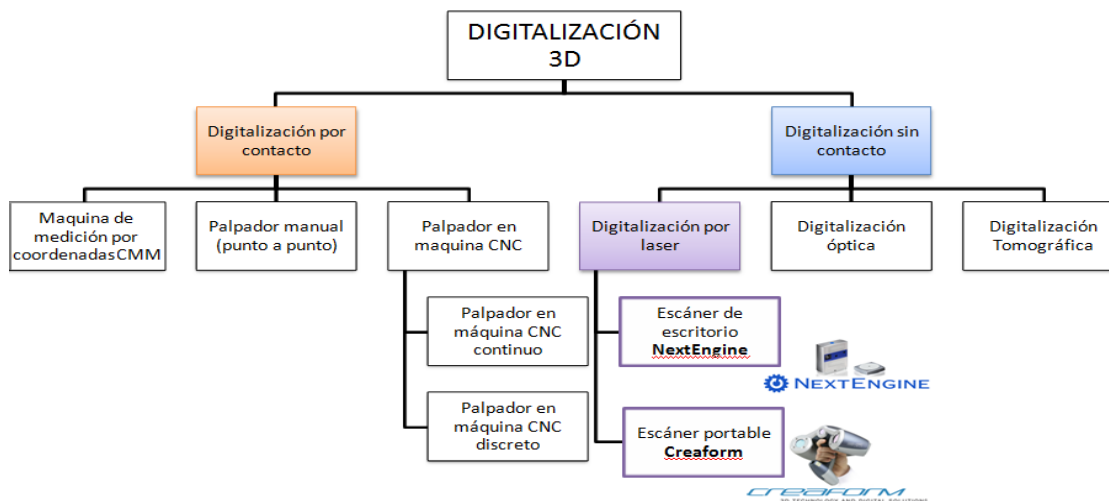
3.1 ESCÁNER TRIDIMENSIONAL

En la actualidad, los dispositivos de escaneo tridimensional (3D) son herramientas de gran utilidad en el diseño en ingeniería. Estos equipos permiten obtener objetos virtuales óptimos para realizar todas las simulaciones requeridas en un proceso de diseño. En la industria moderna, el uso de esta tecnología se ha convertido en una necesidad para ser competitivo. Es una ventaja que puede reducir los costos y aumentar la eficiencia en cualquier proceso.

Los escáner tridimensionales o digitalización 3D son tecnologías que permiten encontrar las coordenadas (X, Y, Z) de cualquier punto en la superficie de un objeto. Para obtener este resultado, estos emplean sensores de posición: de contacto y de no contacto. Los de contacto son los que cuentan con un dispositivo sólido que toca directamente la pieza de interés. Los de no contacto emplean señales que se pueden propagar en cualquier medio.

El escáner 3D de no contacto tipo laser puede utilizar diferentes métodos como: los interferométricos, de reflexión, de interposición, de intensidad, de tiempo y de triangulación. Este último método consiste en determinar a qué profundidad se encuentra la superficie de un objeto, mediante la interpretación de la imagen generada por un haz de laser reflejado en la superficie analizado, basándose en los planteamientos de la teoría de la perspectiva [3]. Los tipos de digitalización 3D se ilustran en el siguiente mapa conceptual.

Figura 13. Tipos de digitalización 3D



Fuente. Propuesta de Integración y Fortalecimiento Tecnológico “LABORATORIO DE INGENIERIA INVERSA - Escáner 3D”. Luis Eduardo Díaz. (Solteco)

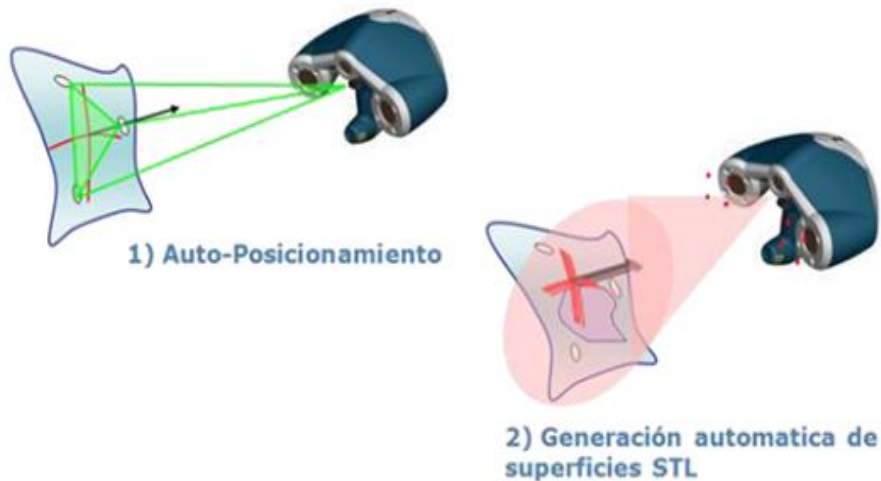
3.2 DISPOSITIVOS DE ESCANEEO LASER HANDYSCAN 3D™

La línea HandyScan 3D™ es una gama de sistemas únicos de digitalización láser que ha revolucionado la industria acelerando y simplificando los procesos de digitalización, particularmente para el diseño, la fabricación y la inspección de todo tipo de partes y ensamble. En comparación con los digitalizadores tradicionales, estos digitalizadores revolucionarios ayudan a automatizar en gran medida muchas tareas de ingeniería.

La línea de dispositivos HandyScan 3D™ se compone de digitalizadores laser portátiles que cuentan con auto posicionamiento, funciones potentes y las últimas innovaciones tecnológicas.

Los dispositivos HandyScan 3D™ utilizan un haz laser de baja potencia el cual permite el escaneo de la pieza. Al no requerir un sistema de referencia externo previamente sobre la superficie del modelo físico se colocan aleatoriamente guías de posicionamiento (targets) las cuales permiten al escáner por triangulación de los targets calcular y crear un sistema de referencia de alta precisión en el espacio. El escaneo tridimensional se puede observar en la Figura 14.

Figura 14. Escaneo tridimensional



Fuente. Propuesta de Integración y Fortalecimiento Tecnológico “LABORATORIO DE INGENIERIA INVERSA - Escáner 3D”. Luis Eduardo Díaz. (Solteco)

El proceso de captura de los datos consiste en la proyección del láser sobre la superficie a digitalizar, el cual se refleja sobre dos células fotosensibles CCD ubicadas a ambos lados del láser y encargadas de transmitir los datos obtenidos al software de adquisición de datos. [3]

3.2.1 Handyscan escáner 3D – beneficios. El escáner handyscan 3D nos brinda los siguientes beneficios:

Auto-posicionamiento

- Innovadores objetivos de posicionamiento y de fácil aplicación (material autoadhesivo reflectante).
- No hay dispositivos de seguimiento externos necesarios para determinar la posición del escáner en el espacio 3D (sin necesidad de CMM, armas portátiles, rastreadores láser, etc.).
- No hay trípodes necesarios. El escáner se mueve alrededor mientras se está escaneando.
- No hay necesidad de una mesa giratoria.
- Completa libertad de movimiento debido a la capacidad de auto-posicionamiento.
- Prácticamente no hay limitaciones en la orientación de exploración o la accesibilidad en espacios reducidos.

Versatilidad

- Escanee objetos pequeños y grandes objetos (del tamaño de un coche e incluso más grandes).
- Trabajos en espacios confinados como la distancia de separación requerida para escanear es de sólo 30cm.
- Maneja complicadas formas 3D mejor que la mayoría de los escáneres.
- Capaz de operar con una batería si hay suministro eléctrico disponible.
- Capacidad para trabajar con algunos sistemas de fotogrametría.

Fácil de usar

- El uso de los escáneres Handyscan 3D es tan fácil como se puede conseguir.
- Más corta curva de aprendizaje de los escáneres láser en cualquier categoría
- Fácil de configurar y escanear para los usuarios. La configuración tarda menos de dos minutos.

Precisión

- Los escáneres Handyscan 3D producen la mejor calidad de los datos disponibles en las tecnologías de escaneo láser

Bajo costo

- Bajos costos del escáner e instalación de escaneo.
- La baja inversión, alto retorno de la inversión y bajos costos de mantenimiento.
- Curva de aprendizaje corta.

Movilidad

- Escáneres 3D Handyscan vienen en un estuche de protección y compacto.
- Fácil de moverse, en la empresa o en el sitio
- Excelente para trabajos de servicio

Ergonomía

- Los escáneres Handyscan 3D son ligeros y ergonómicos.
- Permiten usar en largos períodos de tiempo sin ninguna molestia. [10]

3.2.2 Handyscan escáner 3D – aplicaciones. La gama handyscan de escáneres 3D tiene numerosas aplicaciones.

Inspección:

- Inspección sin contacto
- Inspección de primer artículo
- Inspección de calidad de proveedores
- -Parte-a CAD inspección
- Evaluación de la conformidad de los modelos 3D en contra de la piezas / herramientas de producción original
- Evaluación de la conformidad de las piezas fabricadas con los originales

Ingeniería inversa y Estilo, diseño y análisis:

- Reconstrucción de superficies
- Clase A de superficies
- Modelado 3D
- Modelo de arcilla de digitalización
- Diseño mecánico
- Herramientas y plantillas de diseño
- Mantenimiento
- Reparación y revisión (MRO)
- Análisis de elementos finitos (FEA)

Aplicaciones a nivel industrial:

- Aeroespacial
- Automotriz / Transporte
- Productos de consumo
- Educación
- Preservación y arquitectura Patrimonio
- Fabricación
- La atención médica
- Multimedia / Entretenimiento

Otras aplicaciones:

- Archivado en 3D
- Forensics
- Aplicaciones artísticas
- Las aplicaciones médicas
- La evaluación de daños
- Diseño de packaging para los artículos existentes
- Estructura del armario para los artículos existentes. [10]

3.2.3 Escáneres 3D portátiles – Handyscan 3D nueva generación

Los escáneres portátiles Handyscan 3D™ de nueva generación han sido optimizados para satisfacer las necesidades de ingenieros y profesionales dedicados al desarrollo de productos y que se encuentran constantemente a la búsqueda de formas más eficaces y fiables de realizar mediciones en 3D de objetos físicos.

3.2.3.1 Ventajas. La versatilidad que se presenta en las funciones de la nueva generación de escáneres handyscan 3D son:

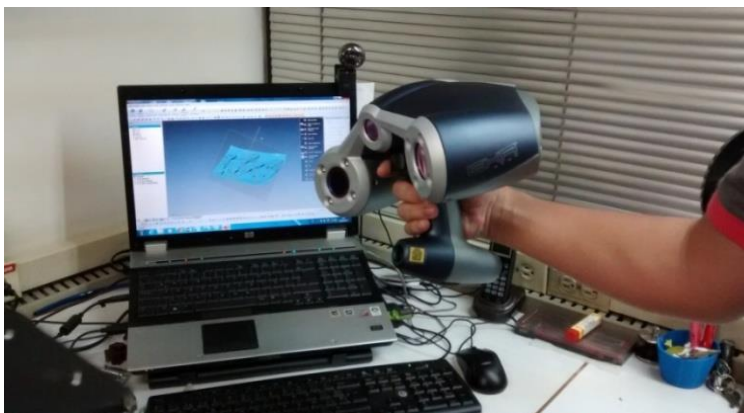
- 25 veces más rápido que los escáneres de la generación anterior.
- 40% más preciso.
- Mayor ergonomía:
 - ✓ 50% más pequeños.
 - ✓ Un 35% más ligero.
 - ✓ Mayor libertad de movimiento.
 - ✓ Botones multifunción para una mayor interacción con el software.[1]

3.3 ESCÁNER TRIDIMENSIONAL HANDYSCAN 3DEXASCAN

EXAscan es un escáner tridimensional portátil, de auto-posicionamiento, de alta resolución y precisión a partir de la línea Handyscan 3D™, se utiliza para realizar inspecciones y rigurosas tareas de ingeniería inversa.

El EXAscan se puede observar en la Figura 15, este hace que sea posible llevar a cabo proyectos de exploración exigentes 3D con un nivel de detalle y precisión eficientes. [10]

Figura 15. Escáner tridimensional Handyscan 3D EXAscan



Fuente. Autores

3.3.1 Características. El escáner 3D utiliza un sistema de reflectores ópticos para crear un sistema de referencia “fijado” al objeto escaneado. El usuario puede mover el objeto como desee durante la sesión de digitalización. Los cambios del entorno no afectan en absoluto la calidad y precisión de la adquisición de datos. La siguiente tabla describe las especificaciones del escáner tridimensional handyscan 3D EXAscan. Las características del escáner tridimensional se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Características del escáner tridimensional EXAscan

CARACTERÍSTICAS	ALTA RESOLUCIÓN Y EXACTITUD
PESO	1,25 Kg (2,75 libras)
DIMENSIONES	(172x260x216)mm (6.75 x 10.2 x 8.5)in
VELOCIDAD DE MEDICIÓN	25000 medidas/s
TIPO DE LASER	II (seguro para la vista)
RESOLUCIÓN DE x, y, z eje:	0,050 mm (0.002 in)
PRECISIÓN	hasta 0,040 mm (0.002 in)
EXACTITUD VOLUMÉTRICA	0,020 mm + 0,100 mm/m
PRECISIÓN VOLUMÉTRICA (CON MAXSHOT 3D)	0,020 mm + 0,025 mm/m
DISTANCIA DE SEGURIDAD	300 mm (12 in)

PROFUNDIDAD DE CAMPO	± 150 mm
ÁREA TRANSVERSAL DEL LASER	210 mm x 210 mm 60 mm x 60 mm (alta resolución)
RESOLUCIÓN DE LA TEXTURA	n/c
TEXTURA DE LOS COLORES	n/c
SOFTWARE	VXelements

Fuente. Directindustry-Creaform

3.4 SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS

3.4.1 VXelements-software de digitalización 3D-EXAscan

VXelements es un software totalmente integrado de adquisición de datos 3D que alimenta a toda la flota de tecnologías de análisis y medición en 3D desarrollado por Creaform. VXelements consta de estos módulos de software: VXscan™, VXprobe™, VXshot™. Esta potente plataforma convoca a todos los elementos y herramientas necesarias en un entorno de trabajo fácil de usar e intuitivo, mientras que sus funciones y capacidades han demostrado su eficacia y poder en el campo en los últimos años.

3.4.1.1 VXscan. Cada escáner láser Handyscan 3D viene con VxScan, el software de adquisición de datos propietario creado por Creaform. Este software de alto rendimiento ha demostrado su eficacia y poder en el campo.

VXscan está enteramente dedicado a la adquisición y optimización de los datos de escaneado 3D. Ofrece un alto rendimiento para tareas específicas, sin embargo, es simple y fácil de usar.

Características de VXscan:

- **Optimización Algoritmo.** Ofrece un algoritmo de optimización de la superficie que evita la creación de múltiples capas de exploración y asegura un mallado más precisa sin ningún tratamiento posterior. La salida es un mallado optimizado que se puede exportar en todos los formatos estándar.
- **Resolución de escaneado de control.** No hay prácticamente ninguna limitación a la resolución de escaneado: acaba de introducir un valor de resolución, independientemente del tamaño del objeto escaneado. La resolución puede ser modificada en cualquier momento antes o después de la exploración. El software puede recrear un mallado de los datos en bruto previamente adquiridos.

- **Tiempo real de superficie Render.** VXscan hace que la superficie en tiempo real mientras se está escaneando el objeto. Esto permite al usuario ver la superficie 3D y manipular el escáner 3D para capturar aquellas áreas que no han sido digitalizados.
- **Crear entidades geométricas.** VXscan es capaz de crear entidades geométricas a partir de los archivos de malla de escaneo. Estas entidades son compatibles con los generados con el módulo VXprobe.
- **MeshEdit.** VXscan tiene varias otras funciones relacionadas con la optimización de la malla como el relleno de huecos, diezmo inteligente (sin pérdida de definición en la malla), o filtros de contorno. [10]

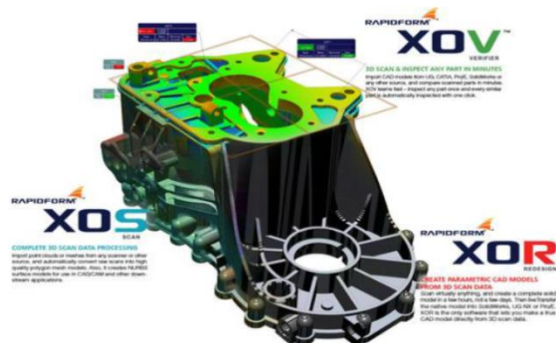
3.5 SOFTWARES DE POST-PROCESAMIENTO DE DATOS ESCANEADOS

3.5.1 Post-procesamiento mediante software REI (Reverse Engineering Software)

Esta aplicación captura y procesa los datos generados por el escáner, provee herramientas para eliminar defectos de escaneo, pulir la malla, alinear y fusionar las facetas entre otros.

La aplicación RapidForm (XOS, XOR y XOY) es utilizada principalmente para el post-procesamiento de datos escaneados, digitalización 3D, ingeniería inversa, diseño, inspección, fabricación digital y aplicaciones en medicina entre otros. En la Figura 16 se muestran los módulos de rapidform. [3]

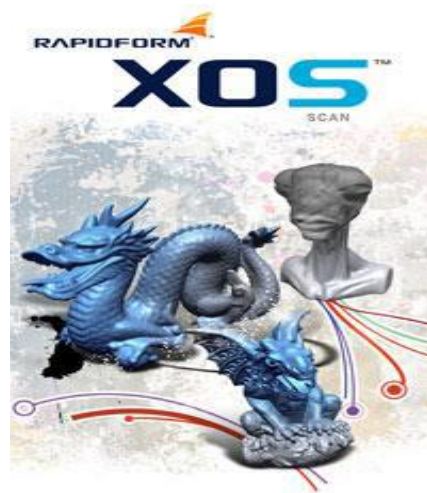
Figura 16. Aplicación RapidForm (XOS, XOR Y XOY)



Fuente. Propuesta de Integración y Fortalecimiento Tecnológico “LABORATORIO DE INGENIERIA INVERSA - Escáner 3D”. Luis Eduardo Díaz. (Solteco)

3.5.1.1 RapidformXOS. Se utiliza para convertir los datos sin elaborar de digitalización 3D en modelos de malla de polígonos herméticos y de alta calidad. Cuenta con la tecnología liveScan, que permite realizar una captura de datos en tiempo real, herramientas integrales de limpieza de nube de puntos, una tecnología de triangulación, registros de digitalización múltiple y una función inteligente de rellenado de orificios. En la figura 17 se muestra la representación de rapidformXOS.

Figura 17. RapidformXOS



Fuente. Propuesta de Integración y Fortalecimiento Tecnológico “LABORATORIO DE INGENIERIA INVERSA - Escáner 3D”. Luis Eduardo Díaz. (Solteco)

3.5.1.2 RapidformXOR. Es un sistema de modelado de superficies sólido y avanzado para diseñar modelos de CAD paramétricos desde los datos de digitalización 3D. Crea modelos de superficie sólidos que se pueden editar por completo directamente desde los datos de la digitalización 3D y además ofrece una creación de superficies rápida y automática para convertir los modelos de malla de polígonos en modelos de superficie NURBS. En la figura 18 se muestra la representación de rapidformXOR.

Figura 18. RapidformXOR



Fuente. Propuesta de Integración y Fortalecimiento Tecnológico “LABORATORIO DE INGENIERIA INVERSA - Escáner 3D”. Luis Eduardo Díaz. (Solteco)

3.5.1.3 RapidformXOV. Es el sistema ideal para inspeccionar partes con un escáner 3D. Toma un poderoso concepto del mundo CAD: cada trabajo de inspección genera un árbol histórico, por lo que fácilmente puede modificar o repetir el proceso de inspección en cualquier momento. XOV combina la funcionalidad de inspección detallada con algoritmos de alta precisión certificada y probado por laboratorios líderes en metrología. Además lee archivos nativos de Siemens NX, CATIA V5 y Pro/ENGINEER, incluyendo dimensiones, tolerancias y datos de referencia. En la figura 19 se muestra la representación de rapidformXOV. [3]

Figura 19. RapidformXOV



Fuente. Propuesta de Integración y Fortalecimiento Tecnológico “LABORATORIO DE INGENIERIA INVERSA - Escáner 3D”. Luis Eduardo Díaz. (Solteco)

3.5.2 Post-procesamiento mediante el software solidworks.

Solidworks es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 3D, el programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada. [2]

El software solidworks puede ser utilizado para el post-procesamiento de datos escaneados, como herramienta de apoyo de la aplicación rapidform hasta la obtención de un modelo CAD paramétrico tridimensional. Este software procesa los datos generados por el escáner y puede ser utilizado para complementar el post-procesamiento realizado por la aplicación rapidform.

4. REPRODUCCIÓN DE LA PIEZA EN LA IMPRESORA TRIDIMENSIONAL

4.1 IMPRESORA TRIDIMENSIONAL

Una impresora tridimensional es una máquina capaz de realizar "impresiones" de diseños en 3 dimensiones, creando piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador. Surgen con la idea de convertir archivos CAD en prototipos reales. A día de hoy son utilizados para la prefabricación de piezas o componentes, en sectores como la arquitectura y el diseño industrial. El sector en el que este tipo de herramientas resulta más común es el de las prótesis médicas, donde resultan ideales dada la facilidad para adaptar cada pieza fabricada a las características exactas de cada paciente.

Los modelos comerciales son actualmente de dos tipos:

- De compactación, en las que una masa de polvo se compacta por estratos.
- De adición, o de inyección de polímeros, en las que el propio material se añade por capas.

Según el método empleado para la compactación del polvo, se pueden clasificar en:

- Impresoras tridimensionales de tinta: utilizan una tinta aglomerante para compactar el polvo. El uso de una tinta permite la impresión en diferentes colores.
- Impresoras tridimensionales de láser: un láser transfiere energía al polvo haciendo que se polimerice. Después se sumerge en un líquido que hace que las zonas polimerizadas se solidifiquen.

Una vez impresas todas las capas sólo hay que sacar la pieza. Con ayuda de un aspirador se retira el polvo sobrante, que se reutilizará en futuras impresiones. [14]

4.2 IMPRESORA TRIDIMENSIONAL OBJET24

La Objet24 es el primer sistema de sobremesa capaz de imprimir modelos realistas con pequeñas piezas móviles, paredes delgadas y superficies suaves que se pueden pintar. Gracias a la tecnología de impresión 3D PolyJet, la Objet24 ofrece capas de impresión de 28 μm y un tamaño de bandeja de 240 x 200 x 150 mm (9,45 x 7,87 x 5,9 pulgadas). La Objet24 es ideal para diseñadores e ingenieros que desean crear modelos de gran precisión para ayudas visuales, ensayos de idoneidad y aplicaciones funcionales. En la Figura 20 se puede observar la impresora 3D OBJET24. [16]

Figura 20. Impresora 3D Objet24



Fuente. Autores

4.2.1 Características. La impresora tridimensional de sobremesa Objet24 combina una serie de factores como alta calidad y modelos de gran fineza en un sistema compacto ideal para un espacio de trabajo. Es la tecnología perfecta para acortar ciclos de diseño incrementando la productividad de su trabajo. Ofrece modelos muy realistas con gran detalle, superficies suaves e incluso partes móviles. Las características que garantizan un buen funcionamiento y alta resolución se pueden ver descritos en la siguiente tabla. Las características de la impresora tridimensional se pueden observar en la Tabla 2. [11]

Tabla 2. Características de la impresora 3D objet24

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	ALTA RESOLUCIÓN Y EXACTITUD
TAMAÑO DE BANDEJA (XxYxZ)	(240 x 200 x 150)mm
TAMAÑO DE CONSTRUCCIÓN LNET (XxYxZ)	(234 x 192,6 x 148,6)mm
GROSOR DE CAPA	28 μ (0,0011 pulgadas)
RESOLUCIÓN DE IMPRESIÓN	X-axis: 600 ppp: 42 μ Y-axis: 600 ppp: 42 μ Z-axis: 900 ppp: 28 μ
MATERIALES SOPORTADOS	Verowhiteplus
REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS	110-240 VAC 50/60 Hz

	1,5 KW monofásico
DIMENSIONES DE LA MAQUINA (ANxFONxAL)	(825 x 520 x 590)mm
PESO DE LA MAQUINA	93 Kg
FORMATO DE ENTRADA	Ficheros *.stl y *.slc
NUMERO DE CABEZALES	1 modelo, 1 soporte
PROTOCOLO DE RED	LAN-TCP/IP

Fuente. Catalogo objet24, características y especificaciones suministrado por OMOCON, mayo 19 2013.

4.3 IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D es un grupo de tecnologías de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material. Las impresoras 3D son por lo general más rápidas, más baratas y más fáciles de usar que otras tecnologías de fabricación por adición, aunque como cualquier proceso industrial, estarán sometidas a un compromiso entre su precio de adquisición y la tolerancia en las medidas de los objetos producidos. Las impresoras 3D ofrecen a los desarrolladores de producto, la capacidad para imprimir partes y montajes hechos de diferentes materiales con diferentes propiedades físicas y mecánicas, a menudo con un simple proceso de montaje. Las tecnologías avanzadas de impresión 3D, pueden incluso ofrecer modelos que pueden servir como prototipos de producto. [8]

4.3.1 Métodos. Un gran número de tecnologías en competencia están disponibles para la impresión 3D; sus principales diferencias se encuentran en la forma en la que las diferentes capas son usadas para crear piezas. Algunos métodos usan fundido o ablandamiento del material para producir las capas, por ejemplo sinterizado de láser selectivo (SLS) y modelado por deposición fundida (FDM), mientras que otros depositan materiales líquidos que son curados con diferentes tecnologías. En el caso de manufactura de objetos laminados, delgadas capas son cortadas para ser moldeadas y unidas juntas.

4.3.1.1 Impresión por inyección. Un método de impresión 3D consiste en el sistema de impresión por inyección. La impresora crea el modelo de capa en capa esparciendo una capa de polvo (plástico o resinas) e inyecta un coaligante por inyección en la sección de la pieza. El proceso es repetido hasta que todas las capas han sido impresas. Esta tecnología es la única que permite la impresión de prototipos a todo color, permitiendo, además, extraplanos o salientes.

4.3.1.2 Modelado por deposición de fundente: El modelado por deposición de fundente, una tecnología desarrollada por Stratasys que es usada en prototipado rápido tradicional, usa una tobera para depositar polímero fundido sobre una estructura soporte, capa a capa. Otro enfoque es fundir de manera selectiva el medio de impresión sobre una base granular. En esta variación el medio no fundido sirve de soporte para los resaltes y paredes delgadas de la pieza a producir, reduciendo así la necesidad de soportes auxiliares temporales. Típicamente un láser es usado para sinterizar el medio y formar el sólido. Ejemplos de esto son el sinterizado selectivo por láser y el sinterizado directo de metal por láser (DMLS) usando metales. Una última variación consiste en usar una resina sintética que se solidifica usando la luz de LEDs.

4.3.1.3 Fotopolimerización. Este método tiene tres tipos de tecnologías.

- Estereolitografía: La tecnología SLA utiliza resinas líquidas fotopoliméricas que se solidifican cuando son expuestas a la luz emitida por un láser ultravioleta. De esta forma se van creando capas superpuestas de resina sólida que van creando el objeto.
- Fotopolimerización por luz ultravioleta: En la fotopolimerización por luz ultravioleta, SGC, un recipiente de polímero líquido es expuesto a la luz de un proyector DLP bajo condiciones controladas. El polímero líquido expuesto endurece; la placa de montaje se mueve hacia abajo en incrementos pequeños y el polímero es expuesto de nuevo a la luz. El proceso se repite hasta que el modelo es construido. El polímero líquido restante es entonces extraído del recipiente, dejando únicamente el modelo sólido. El ZBuilder Ultra es un ejemplo de sistema DLP de prototipado rápido.
- Fotopolimerización por absorción de fotones: Características ultra pequeñas pueden ser conseguidas a través de la técnica de la microfabricación 3D, mediante el mecanismo de fotopolimerización por absorción de fotones. En esta variación, el objeto 3D deseado es trazado en un bloque de gel con un láser. El gel es curado y se solidifica sólo en los lugares en donde el láser es enfocado debido a la no linealidad óptica de la fotoexcitación; después de la etapa de láser, el gel restante es lavado. Esta técnica ofrece tamaños de menos de 100 nanómetros siendo fácilmente fabricables tanto en estructuras complejas de partes móviles como en fijas.

4.3.1.4 Impresión con hielo. Recientemente se han desarrollado técnicas que por medio de un enfriamiento controlado de agua tratada, son capaces de producir una auténtica impresión 3D con hielo como material. Aunque es una tecnología en desarrollo y sus ventajas a largo plazo están aún por ver, el ahorro de material específico para llevar a cabo la impresión, independientemente del coste del proceso, parece una de ellas. [8]

4.4 MATERIALES

La impresora Objet24 utiliza dos materiales, Vero White Plus RGD 835 (material blanco opaco rígido) es el modelo de la pieza a reproducir y el Full Cure 705 como soporte. Los cuales resultan perfectos para prototipado y modelado 3D de uso general.

4.4.1 Vero White Plus RGD 835. Es el material modelo del prototipo o de la pieza a reproducir, proviene de la familia de fotorpolímeros opacos rígidos. Se utiliza en la impresión 3D ya que proporcionan una visualización de excelente detalle, durabilidad y fuerza. Se obtienen prototipos precisos y realistas, incluso para el movimiento de piezas ensambladas.

4.4.2 Full Cure 705. Es el material soporte o apoyo de la pieza a reproducir, llena espacios vacíos en el prototipo o entre el prototipo y la bandeja. Se puede quitar fácilmente después del proceso de impresión, por ejemplo manualmente y con agua a presión. [16]

4.5 SOFTWARE OBJET STUDIO

Objet Studio simplifica la creación de modelos 3D precisos y de alta calidad. Transforma automáticamente los archivos STL y SLC de cualquier aplicación CAD 3D en láminas de modelado 3D, que incluyen el material modelo y el soporte de construcción. Con los asistentes se puede construir, modificar las bandejas, posicionar la pieza, calcular y administrar tiempo de trabajo, calcular consumo de material y realizar el mantenimiento rutinario del sistema. Este software ofrece:

- Configuración sencilla de la bandeja
- Generación automática de soporte
- Creación de láminas sobre la marcha para que la impresión 3D pueda empezar enseguida
- Colocación automática de las bandejas para un posicionamiento coherente
- Red para varios usuarios. [16]

5. GENERALIDADES DE METROLOGÍA

Se designa a la Metrología, como la ciencia de todas las mediciones las cuales están hechas para comparar las condiciones dimensionalmente perceptibles, de sólidos o de diversos fenómenos físicos que generalmente aceptan unidades de medición. Se ocupa de las mediciones, unidades de medida y de los equipos utilizados para efectuarlas, así como de su verificación y calibración periódica. Las mediciones son importantes en la mayoría de los procesos productivos e industriales.

La medida o medición directa, se obtiene con un instrumento de medida, la cual consiste en comparar un patrón seleccionado con el objeto o fenómeno cuya magnitud física se desea medir para ver cuántas veces el patrón está contenido en esa magnitud. [5]

5.1 APLICACIONES DE LA METROLOGÍA

La metrología está presente al realizar mediciones para la investigación en universidades y laboratorios; en la actividad de organismos reguladores; en la industria militar; en la producción y el comercio. Su aplicación abarca campos tan diversos como:

- La ciencia
- La medicina e industria farmacéutica
- La construcción
- La metalurgia
- La minería
- La actividad pesquera y alimenticia
- Los sectores del cuero y textiles
- El rubro del plástico y de la madera. [13]

5.2 INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Un instrumento de medición es un aparato que se usa para comparar magnitudes físicas mediante un proceso de medición. Como unidades de medida se utilizan objetos y sucesos previamente establecidos como estándares o patrones y de la medición resulta un número que es la relación entre el objeto de estudio y la unidad de referencia.

Los instrumentos de medición directa son los que dan lecturas sobre una escala graduada, de una manera directa e inmediata sin necesidad de ajustar acero o a otro valor cualquiera a los equipos de medición. Como ejemplo podemos mencionar: calibrador vernier, tornillo micrométrico y aquellos que funcionan con el mismo principio, etc. [18]

5.3 MÁQUINA DE MEDICIÓN DE COORDENADAS (MMC)

La Máquina de Medición de Coordenadas (MMC) puede ser definida como "una máquina que emplea tres componentes móviles que se trasladan a lo largo de guías con recorridos ortogonales, para medir una pieza por determinación de las coordenadas X, Y y Z de los puntos de la misma con una sonda o palpador de contacto o sin él y sistema de medición del desplazamiento (escala), que se encuentran en cada uno de los ejes", la MMC puede ser observada en la Figura 21. Como las mediciones están representadas en el sistema tridimensional, la MMC puede efectuar diferentes tipos de medición como: dimensional, posicional, desviaciones geométricas y mediciones de contorno. [15]

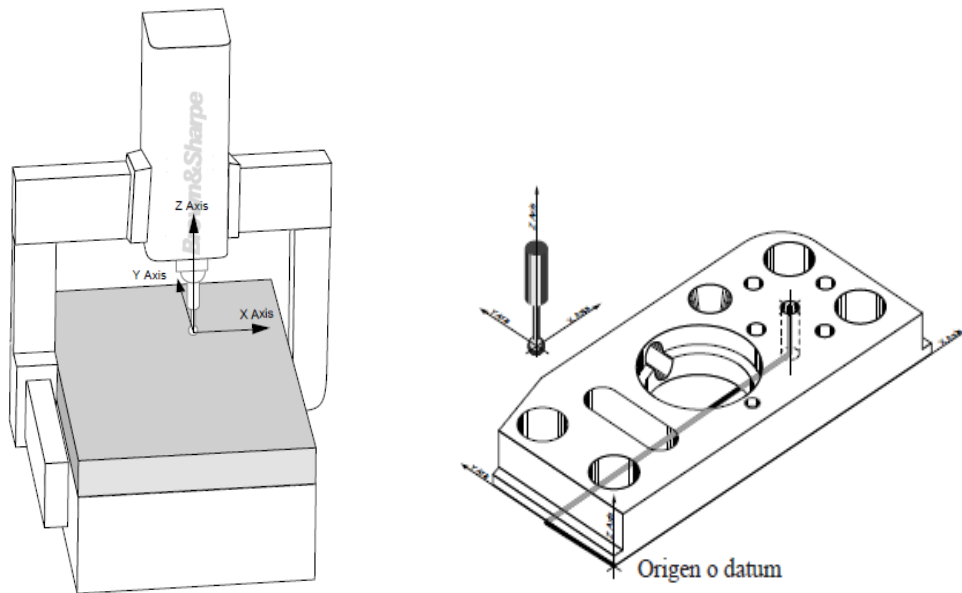
Figura 21. Máquina de medición de coordenadas



Fuente. Autores

5.3.1 Sistema de coordenadas de la máquina. En la Figura 22 se observa este sistema, los ejes X, Y y Z se refieren a los movimientos de la máquina. Cuando se visualiza desde el frente de la máquina, el eje X va de izquierda a derecha, el eje Y va del frente a la parte posterior y el eje Z va de arriba hacia abajo, verticalmente perpendicular a los otros dos ejes.

Figura 22. Sistema de coordenadas de la máquina



Fuente. Manual de software MMC, réflex.

5.3.2 Características. La máquina de medición de coordenadas es un instrumento de medición de alta precisión, utiliza una sonda o palpador para medir los puntos de una pieza. Cada punto en la pieza de trabajo es único en el sistema de coordenadas de la máquina y combina los puntos medidos para formar una característica. Las características de la máquina de medición de coordenadas se pueden observar en la Tabla 3. [15]

Tabla 3. Características de la máquina de medición de coordenadas

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	ALTA PRECISION, RESOLUCIÓN Y EXACTITUD
RECORRIDO DE LOS EJES (XxYxZ)	(440 x 500 x 360)mm
VELOCIDAD DEL HUSILLO	(0 a 7500)RPM
TIPO DE INTERPOLACIÓN	LINEAL, CIRCULAR, HELICOIDAL
CAPACIDAD CARGA MESA	1361 kg
POTENCIA DE MECANIZADO	15 kW
REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS	110 V- 1 fase; 40 A; 20 HP (15kW)

DIMENSIONES DE LA MÁQUINA (ANxLARxAL)	(2749 x 2292 x 2654)mm
PESO DE LA MÁQUINA	3311 Kg
REQUERIMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO	90 PSI, 4 SCFM
NÚMERO DE CABEZALES	1 modelo, 1 soporte
PROTOCOLO DE RED	LAN-TCP/IP

Fuente. Manual de software MMC, réflex.

5.3.3 Aplicaciones de la máquina de medición de coordenadas. Las máquinas de medir por coordenadas se utilizan para las siguientes aplicaciones:

- Definición de características geométricas dimensionales (dimensiones, forma, posición y actitud) de un objeto, por ejemplo un molde cuyas características teóricas son desconocidas.
- Control de la correspondencia entre un objeto físico con sus especificaciones teóricas (expresadas en un dibujo o en un modelo matemático) en términos de dimensiones, forma, posición y actitud. [15]

6. ANÁLISIS DIMENSIONAL DEL PROCESO

Para realizar el análisis dimensional del proceso “Aplicación de la ingeniería inversa en la reproducción de una pieza plástica inyectada”. Se aplicó el concepto de ingeniería inversa a una probeta de tracción, obtenida de la inyectora de la Universidad Tecnológica de Pereira, a través de la digitalización, post-procesado y reproducción de otra pieza mediante prototipado rápido en la impresora 3D Objet24. Se realizó una comparación dimensional de la pieza plástica inyectada con la reproducida por prototipado rápido. Para ello, se empleó como instrumento de medición y precisión: la máquina de medición de coordenadas y se realizó la metrología respectiva, con el fin de comprobar la fiabilidad del proceso realizado.

6.1 APLICACIÓN DE INGENIERÍA INVERSA

El proceso consistió en aplicar el concepto de ingeniería inversa a una pieza plástica inyectada (probeta de tracción), el cual se desarrolló en las siguientes etapas:

Selección de la pieza

- Se seleccionó una pieza que se haya fabricado mediante el proceso de inyección de plástico. Esta fue la pieza base del proyecto. En la Figura 23 se puede observar la inyectora de plásticos.

Figura 23. Inyectora de plásticos



Fuente. Autores

- Se buscó que la pieza plástica inyectada seleccionada tuviera una aplicación definida y que dicha pieza se pudiera fabricar en la inyectora de la universidad. Se consideró y se seleccionó la *probeta de tracción de plásticos*. El molde de las probetas se puede observar en la Figura 24.

Figura 24. Molde de probetas de tracción



Fuente. Autores

Captura de información de la pieza a reproducir

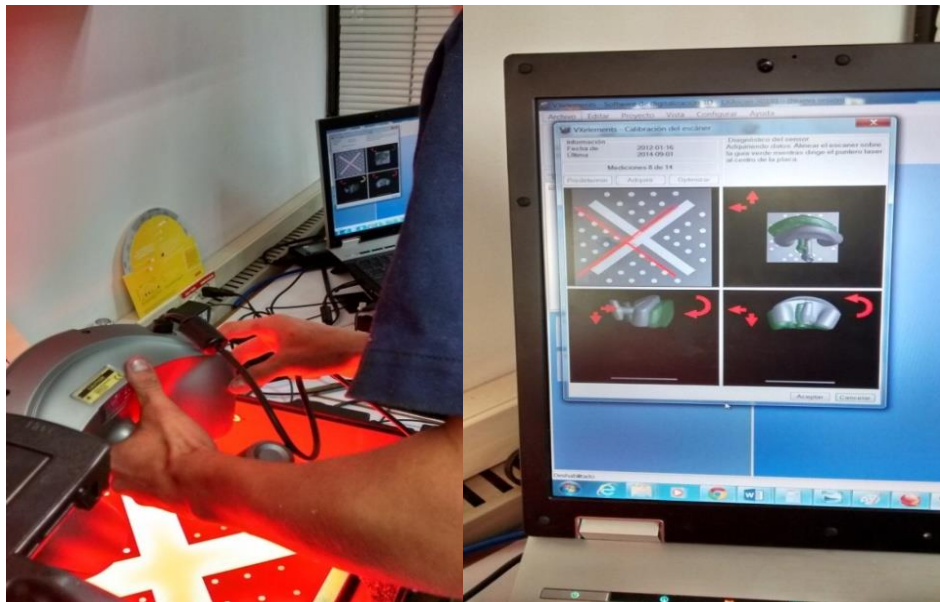
- La captura de datos se realizó mediante el proceso de digitalización, con un equipo de escaneo tridimensional. Para tal proceso se empleó el escáner Exascan, se tuvo disposición del equipo en la Universidad Tecnológica de Pereira.
- Para la digitalización de un objeto se debe tener en cuenta la calibración del equipo. En la Figura 25 se puede apreciar la bandeja de calibración. La bandeja de calibración es una parte crucial del sistema, una bandeja dañada puede impedir la optimización de calibración y afectar los resultados del análisis. En la calibración se debe tener en cuenta tanto el posicionamiento del equipo, ajustándolo al patrón de referencia determinado, como las características del medio donde se calibra (la presión atmosférica). En la Figura 26 se puede apreciar la calibración del escáner tridimensional (Exascan 3D).

Figura 25. Bandeja de calibración del escáner 3D



Fuente. Autores

Figura 26. Calibración del escáner 3D



Fuente. Autores

- Luego de haber calibrado el escáner se procede a digitalizar la probeta de tracción con el equipo. La captura de datos se realiza sobre una superficie plana con targets (puntos de referencia o guías de posicionamiento). Los datos obtenidos se transmiten al software de adquisición de datos (VxElements), el cual se encarga de interpretar la nube de puntos detectada por el escáner y generar un archivo STL. En la Figura 27 se puede observar la digitalización de la probeta de tracción con el escáner tridimensional (ExaScan 3D).

Figura 27. Digitalización de la probeta con el escáner 3D

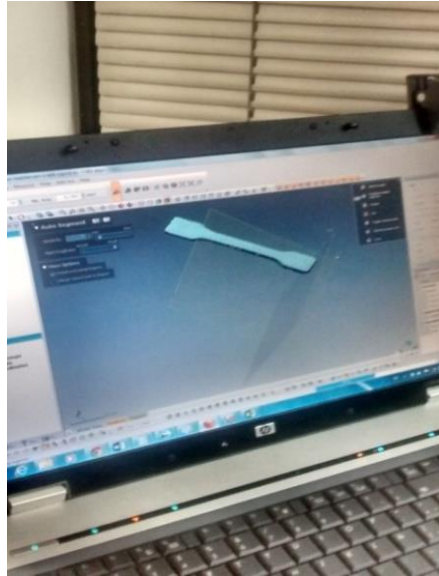


Fuente. Autores

Post-procesamiento a la pieza escaneada

- La herramienta que se escogió para realizar el post-procesamiento fue el software Rapidform, esta aplicación captura y procesa los datos generados por el escáner y elimina los defectos de escaneo.
- Una vez definido el software, se transfiere el archivo STL para realizar el post-procesamiento. Ya que es necesario realizar una limpieza de la nube obtenida. En la figura 28 se puede observar la nube de puntos y la limpieza de los datos obtenidos por el escáner. Rapidform permite crear modelos digitales precisos y la exportación a los principales formatos 3D utilizables.

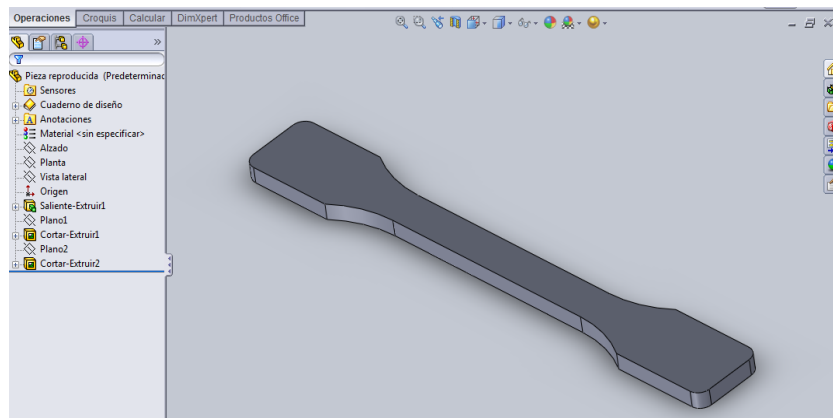
Figura 28. Nube de puntos y limpieza de los datos obtenidos por el escáner



Fuente. Autores

- Después de haber realizado el post-procesamiento y ajuste de información, se exportó el archivo a software CAD/CAE, en nuestro caso a solidworks en un archivo neutro (iges, step o parasolid). En la Figura 29 se puede observar el complemento del post-procesamiento con el software solidworks.

Figura 29. Complemento del post-procesamiento con solidworks

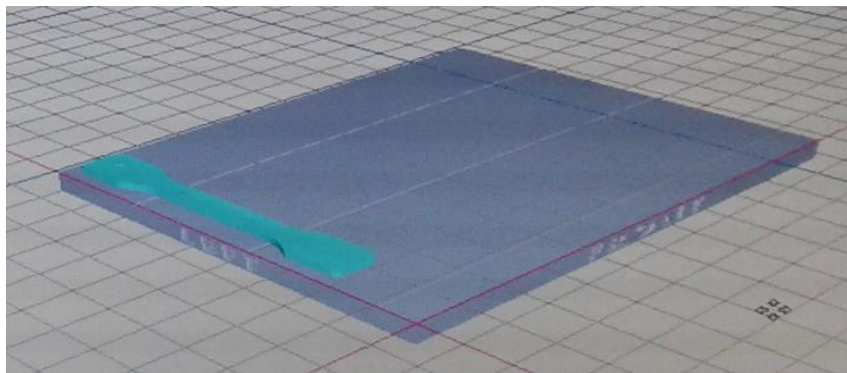


Fuente. Autores

Reproducción de la pieza

- Una vez terminado el post-procesamiento de la pieza se exporta el archivo a formato STL de manera que pueda ser interpretado por la impresora 3D objet24.
- El software de la impresora permite el cálculo de material destinado para este proceso, ubicación de la pieza y el tiempo de impresión. En la Figura 30 se puede observar el posicionamiento de la pieza con el software de la impresora 3D.

Figura 30. Posicionamiento de la pieza en el software de la impresora 3D



Fuente. Autores

- Luego de haber ajustado todos los parámetros de impresión se procede a la reproducción de la pieza mediante la impresora 3D Objet24, proporcionada por la Universidad Tecnológica de Pereira. En la Figura 31 se puede observar la reproducción de la probeta.

Figura 31. Reproducción de la pieza



Fuente. Autores

- Por último se procede a remover el material soporte (full cure 705) del material modelo (vero White plus RGD 835). En la Figura 32 se ve ilustrado este proceso.

Figura 32. Remoción del material soporte de la pieza reproducida

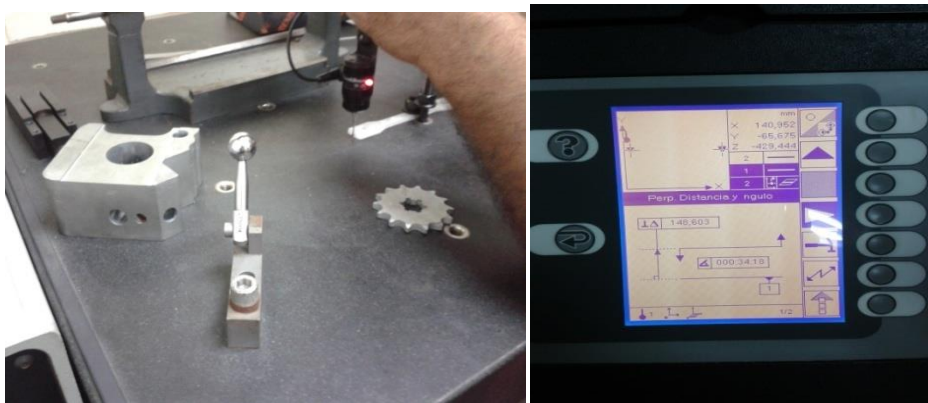


Fuente. Autores

Comprobación de la fiabilidad del proceso realizado

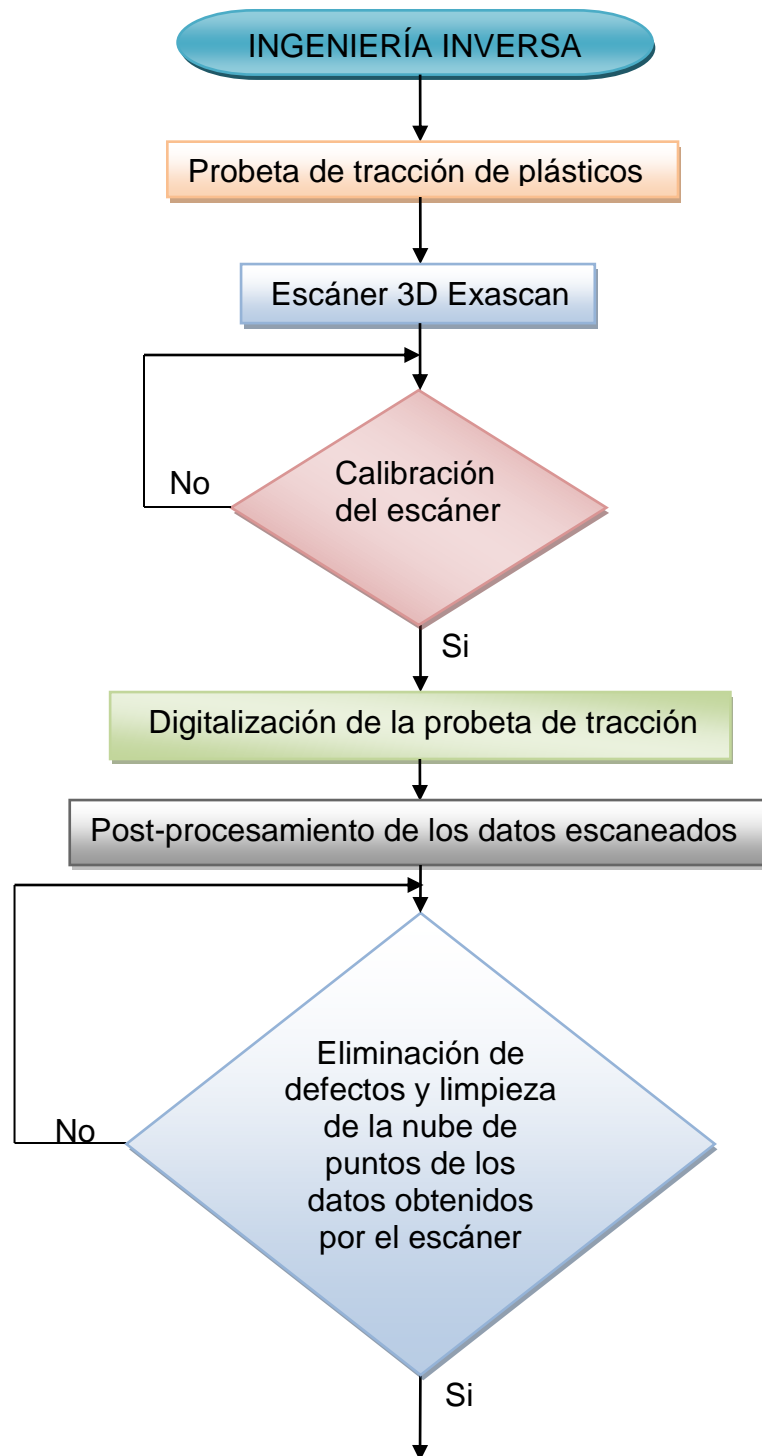
- Se realizó una comparación dimensional de la pieza plástica inyectada con la reproducida por prototipado rápido. Para ello, se empleó como instrumento de medición y precisión: la máquina de medición de coordenadas (MMC) y se realizó la metrología respectiva con ayuda de instrumentos de medición: calibrador, micrómetro, el software AutoCAD y solidworks. En la Figura 33 se puede ver la toma de medidas con la MMC.

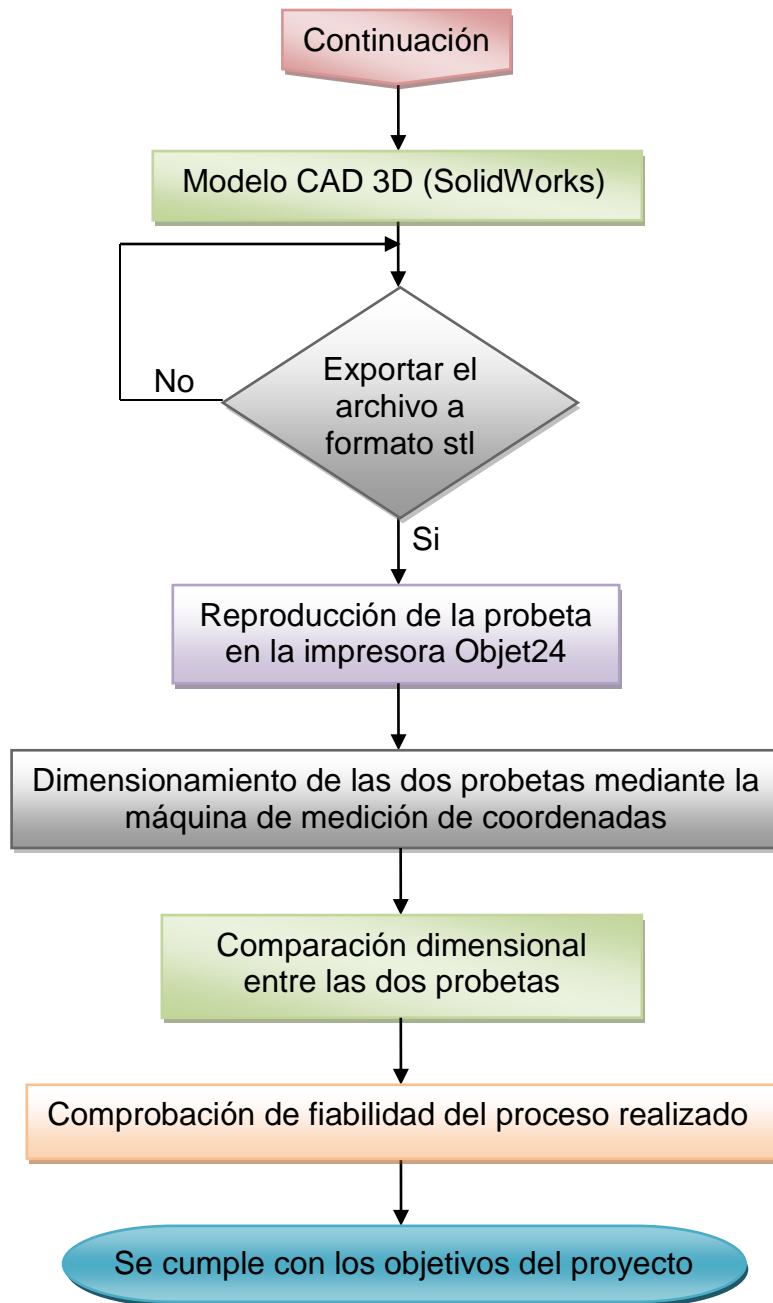
Figura 33. Toma de medidas con la máquina de medición de coordenadas



Fuente. Autores

6.1.1 Diagrama de flujo. El proceso realizado de aplicación de ingeniería inversa se describe en el siguiente diagrama de flujo.





6.2 COMPARACIÓN DIMENSIONAL

Para realizar la comparación dimensional de la pieza plástica inyectada con la reproducida por prototipado rápido, se empleó como instrumento de medición y precisión: la máquina de medición de coordenadas, se realizó la metrología y análisis respectivos. En la figura 34 se puede observar la probeta inyectada y la probeta reproducida.

Figura 34. Probeta inyectada y probeta reproducida



Fuente. Autores

6.2.1 Medición de las piezas. Las dimensiones de las probetas de tracción de plásticos se tomaron con la máquina de medición de coordenadas. Las medidas de la pieza inyectada y la pieza reproducida se pueden observar en los siguientes planos.

Para observar el Plano tecnológico de la pieza inyectada, ver el **ANEXO A**.

Para observar el Plano tecnológico de la pieza reproducida, ver el **ANEXO B**.

6.2.2 Comparación de cada medida correspondiente de las dos piezas. De acuerdo a las medidas tomadas a las probetas de tracción de plásticos (inyectada y reproducida) con la MMC, se hizo una comparación de cada una de las dimensiones tomadas: de longitudes, ancho espesores y radios. Se referenció cada cota con letras. También se comparó cada una de las probetas con las dimensiones de la norma ASTM D638-10. Para observar las referencias de cada cota de la “A” a la “Ñ”, ver el **ANEXO C**.

En la tabla 4 se observa las comparaciones de cada cota de acuerdo a los planos tecnológicos de la pieza inyectada y la pieza reproducida, se muestra las diferencias dimensionales y porcentuales que tiene cada medida y las tolerancias permitidas según la norma.

La siguiente ecuación es para el cálculo de porcentaje de diferencia o error. [12]

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|medida\ pieza\ reproducida - medida\ pieza\ inyectada|}{|medida\ pieza\ inyectada|} \times 100 \quad (1)$$

La siguiente ecuación es para el cálculo de diferencia de medida.

$$\text{Diferencia de medida} = |medida\ pieza\ reproducida - medida\ pieza\ inyectada| \quad (2)$$

Tabla 4. Comparación dimensional de cada cota, diferencias de medida y porcentaje de diferencia o error (probeta inyectada vs probeta reproducida)

COTA	MEDIDA [mm]		DIFERENCIA DE MEDIDA [mm]	PORCENTAJE DE DIFERENCIA O ERROR [%]	TOLERANCIAS SEGÚN LA NORMA ASTM D638-10 [mm]
	PROBETA INYECTADA	PROBETA REPRODUCIDA			
A	19,547	19,836	0,289	1,478	6.4
B	9,818	10,156	0,338	3,443	± 0.5
C	19,711	20,084	0,373	1,892	6.4
D	148,173	148,603	0,430	0,290	no max
E	30,273	30,376	0,103	0,340	± 1
F	33,060	32,566	0,494	1,494	± 1
G	31,698	32,630	0,932	2,940	± 1
H	31,077	32,065	0,988	3,179	± 1
I	4,156	4,404	0,248	5,967	± 0.4
J	4,196	4,374	0,178	4,242	± 0.4
K	4,230	4,353	0,123	2,908	± 0.4
L	3,234	3,174	0,060	1,855	...
M	3,187	3,296	0,109	3,420	...
N	3,456	3,421	0,035	1,013	...
Ñ	3,350	3,371	0,021	0,627	...

Fuente. Autores

La diferencia promedio encontrada entre la pieza realizada por prototipado rápido (probeta reproducida) y el modelo escaneado original (probeta inyectada) son:

- Diferencia de medida: ± 0,34453333 mm
- Diferencia en porcentaje: 2,35393333 %

Las diferencias de medida de cada cota de las dos piezas se encuentran en el rango de tolerancias permitidas según la norma ASTM D 638-10.

Tabla 5. Comparación dimensional de cada cota, diferencias de medida y porcentaje de diferencia o error (probeta inyectada vs norma ASTM D638-10)

COTA	MEDIDA [mm]		DIFERENCIA DE MEDIDA [mm]	PORCENTAJE DE DIFERENCIA O ERROR [%]	TOLERANCIAS SEGÚN LA NORMA ASTM D638-10 [mm]
	PROBETA INYECTADA	NORMA ASTM D638-10			
A	19,547	19,000	0,547	2,798	6.4
B	9,818	13,000	3,182	32,410	± 0.5
C	19,711	19,000	0,711	3,607	6.4
D	148,173	165,000	16,827	11,356	no max
E	30,273	76,000	45,727	151,049	± 1
F	33,060	76,000	42,940	129,885	± 1
G	31,698	76,000	44,302	139,763	± 1
H	31,077	76,000	44,923	144,554	± 1
I	4,156	3,200	0,956	23,003	± 0.4
J	4,196	3,200	0,996	23,737	± 0.4
K	4,230	3,200	1,030	24,350	± 0.4
L	3,234	...	...	...	...
M	3,187	...	...	...	...
N	3,456	...	...	...	...
Ñ	3,350	...	...	...	...

Fuente. Autores

La diferencia promedio encontrada entre la pieza generada mediante la inyectora de plásticos y la norma ASTM D638-10 son:

- Diferencia de medida: ± 18,37645455 mm
- Diferencia en porcentaje: 62,41018182 %

Las diferencias de medida de esta comparación no se encuentran en el rango de tolerancias permitidas por la norma.

Tabla 6. Comparación dimensional de cada cota, diferencias de medida y porcentaje de diferencia o error (probeta reproducida vs norma ASTM D638-10)

COTA	MEDIDA [mm]		DIFERENCIA DE MEDIDA [mm]	PORCENTAJE DE DIFERENCIA O ERROR [%]	TOLERANCIAS SEGÚN LA NORMA ASTM D638-10 [mm]
	PROBETA REPRODUCIDA	NORMA ASTM D638-10			
A	19,836	19,000	0,836	4,215	6.4
B	10,156	13,000	2,844	28,003	± 0.5
C	20,084	19,000	1,084	5,397	6.4
D	148,603	165,000	16,397	11,034	no max
E	30,376	76,000	45,624	150,198	± 1
F	32,566	76,000	43,434	133,372	± 1
G	32,630	76,000	43,370	132,914	± 1
H	32,065	76,000	43,935	137,019	± 1
I	4,404	3,200	1,204	27,339	± 0.4
J	4,374	3,200	1,174	26,840	± 0.4
K	4,353	3,200	1,153	26,487	± 0.4
L	3,174	...	...	...	...
M	3,296	...	...	...	...
N	3,421	...	...	...	...
Ñ	3,371	...	...	...	...

Fuente. Autores

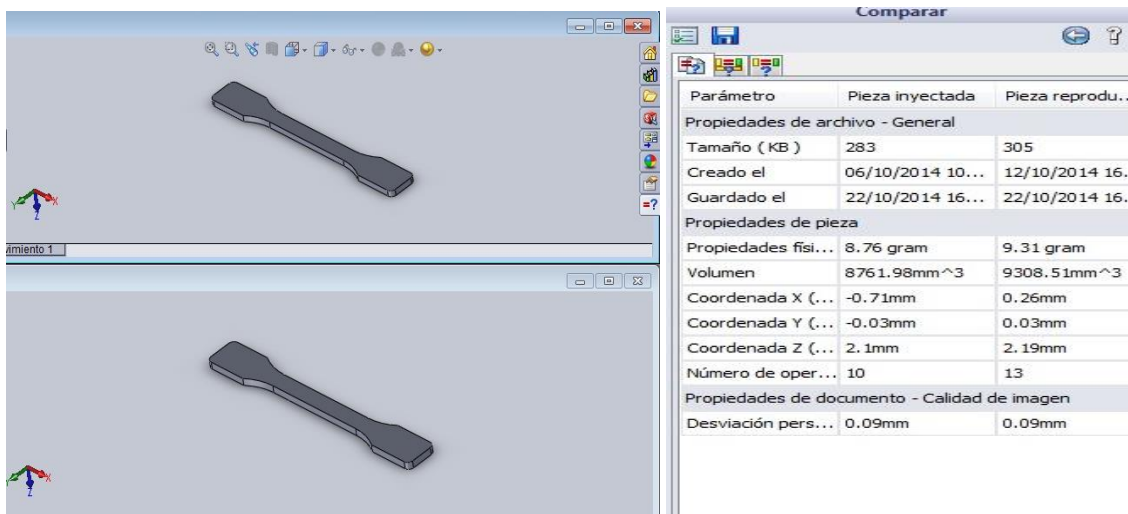
La diferencia promedio encontrada entre la pieza generada mediante la impresora tridimensional y la norma ASTM D638-10 son:

- Diferencia de medida: $\pm 18,27772727$ mm
- Diferencia en porcentaje: 62,07436364 %

Las diferencias de medida de esta comparación no se encuentran en el rango de tolerancias permitidas por la norma.

6.2.3 Comparación dimensional con ayuda de solidworks. Aprovechando las herramientas que posee el software solidworks se procedió a realizar una comparación de los dos archivos CAD, el modelo escaneado (probeta inyectada) con respecto al modelo CAD realizado a partir de las dimensiones calculadas por la MMC (probeta reproducida). Esta me ofrece una comparación de: geometría, documentos y operaciones. En la Figura 35 se puede observar la comparación geométrica realizada en solidworks: mostrando las propiedades físicas, volumen, coordenadas de los ejes X Y Z, etc.

Figura 35. Comparación geométrica realizada en solidworks



Fuente. Autores

De acuerdo a la comparación en solidworks se obtuvo los siguientes datos:

- Volúmenes:
 Probeta inyectada = $8761,98 \text{ m}^3$
 Probeta reproducida = $9308,51 \text{ m}^3$
- Propiedades físicas:
 Probeta inyectada = 8,76 gr
 Probeta reproducida = 9,31 gr
- Coordenadas de los ejes X, Y y Z.

Para observar como se hace la comparación de archivos CAD en solidworks, ver el **ANEXO D**.

6.2.4 Diferencias entre la comparación dimensional y la realizada en solidworks. La comparación realizada con el software solidworks de los archivos CAD de las dos piezas se hizo con el fin de completar la comparación dimensional. Con la comparación dimensional realizada a las dos probetas pudimos observar que por medio de este proceso se validó que las medidas de las probetas se encuentran en el rango de las tolerancias definidas por la norma ASTM D638-10, en cambio por el proceso de comparación mediante el software solidworks no se hubiera podido obtener dichos resultados ya que esta comparación arroja datos en base a los volúmenes de las probetas, operaciones, geometría, etc.

7. RESULTADOS

De acuerdo a las comparaciones dimensionales realizadas entre las probetas inyectada y reproducida, entre la norma ASTM D638-10 con cada una de las probetas y una comparación dimensional en solidworks se obtuvieron los siguientes resultados:

7.1 COMPARACIÓN DIMENSIONAL ENTRE LA PROBETA INYECTADA CON LA REPRODUCIDA

De acuerdo a la comparación entre la pieza escaneada (probeta inyectada) y la pieza realizada en la impresora 3D (probeta reproducida) se obtuvo:

- Cada diferencia de medida de cada cota fue de menos de 1 mm.
- El porcentaje de error de cada cota fue de menos de 5 %.
- La diferencia promedio de medida fue de $\pm 0,34453333$ mm.
- Las diferencias de medida de cada cota de las dos piezas se encontraron entre el rango de tolerancias permitidas según la norma ASTM D 638-10

7.2 COMPARACIÓN DIMENSIONAL ENTRE LA NORMA ASTM D638-10 CON LA PROBETA INYECTADA

De acuerdo a la comparación entre la norma y la probeta inyectada se obtuvo:

- Cada diferencia de medida de cada cota fue de menos de 46 mm.
- El porcentaje de error de cada cota fue de menos de 152 %.
- La diferencia promedio de medida fue de $\pm 18,37645455$ mm.
- Las diferencias de medida de esta comparación no se encuentran en el rango de tolerancias permitidas por la norma.

7.3 COMPARACIÓN DIMENSIONAL ENTRE LA NORMA ASTM D638-10 CON LA PROBETA REPRODUCIDA

De acuerdo a la comparación entre la norma y la probeta reproducida se obtuvo:

- Cada diferencia de medida de cada cota fue de menos de 46 mm.
- El porcentaje de error de cada cota fue de menos de 151 %.
- La diferencia promedio de medida fue de $\pm 18,27772727$ mm.
- Las diferencias de medida de esta comparación no se encuentran en el rango de tolerancias permitidas por la norma.

7.4 COMPARACIÓN DIMENSIONAL EN SOLIDWORKS

De acuerdo a la comparación realizada en solidworks se obtuvo:

- Volúmenes:
Probeta inyectada = $8761,98 \text{ m}^3$
Probeta reproducida = $9308,51 \text{ m}^3$
- Propiedades físicas:
Probeta inyectada = 8,76 gr
Probeta reproducida = 9,31 gr

7.5 FIABILIDAD DEL PROCESO DE LA APLICACIÓN DE INGENIERÍA INVERSA

Para verificar la fiabilidad del proceso realizado se ha empleado la máquina de medición por coordenadas, la cual permite realizar la metrología respectiva a las dos piezas (probeta inyectada y probeta reproducida), obteniendo las dimensiones de estas para realizar la comparación de cada cota o medida. La MMC se utilizó ya que la pieza digitalizada no tenía una forma o geometría compleja y podíamos recurrir a comparar cada cota tomada (ver el numeral 6.2.2). Se utilizó como complemento para la comparación dimensional la herramienta solidworks, realizando una comparación de los dos archivos CAD de las piezas (ver el numeral 6.2.3).

Las diferencias promedio encontradas entre la pieza realizada a partir de las dimensiones calculadas por la MMC (probeta reproducida) y el modelo escaneado original (probeta inyectada) están alrededor de los $\pm 0,34453333 \text{ mm}$. Una de las mayores diferencias se obtiene en el largo de la probeta (la mayor medida), está alrededor de los $\pm 0,88 \text{ mm}$, estas diferencias de medida de cada cota se encuentran en el rango permitido de tolerancias de la norma ASTM D638-10.

En la comparación de la norma ASTM D638-10 con cada una de las probetas se evidencio que el molde no fue fabricado con dicha norma, como consecuencia se obtuvieron unas diferencias de medidas y porcentajes de error no apropiados y por ende no cumple con las tolerancias exigidas por la norma.

Posteriormente se realizó una comparación de los dos archivos CAD de las piezas con el software solidworks, con el fin de completar la comparación dimensional del proceso realizado.

De acuerdo a los resultados obtenidos puede notarse que las tolerancias y las pérdidas geométricas de una probeta a la otra son muy reducidas, esto quiere decir que la aplicación de ingeniería inversa realizada con los métodos utilizados en este proyecto es fiable y eficiente.

CONCLUSIONES

- Se determino mediante la revisión bibliográfica que la ingeniería inversa ha contribuido al mejoramiento de las tecnologías y en diversos campos de la industria como: ingeniería mecánica, ingeniería de diseño, ingeniería biomédica, diseño industrial, etc.
- Se selecciono una probeta de tracción de plásticos debido a que tiene aplicación en nuestra carrera en campos como: resistencia de los materiales, diseño mecánico, ciencia e ingeniería de los materiales, etc. Se pudo fabricar en la inyectora de la universidad debido a que se cuenta con dicho molde y además se selecciono esta probeta en base a su forma y geometría sencilla.
- El escáner tridimensional es una herramienta muy importante para el proceso de aplicación de ingeniería inversa debido a que es un equipo que posee tecnología de última gama y conlleva a resultados muy precisos. Al calibrar el escáner se obtiene una mayor eficiencia en la toma de los datos. La digitalización 3D se utiliza para la creación de nuevos productos a partir de un producto existente, con el fin de determinar sus características, funciones y dimensiones. Para reproducirla y en lo posible mejorarla.
- Se obtuvo un sólido CAD bien definido con la ayuda del post-procesamiento realizado en el software rapidform el cual me hace una limpieza de la nube de puntos de los datos escaneados y como complemento del post-procesamiento se utilizo solidworks.
- Al haber implementado la impresora tridimensional (Objet24) para la reproducción de la pieza se pudo observar que dicha impresora genera con gran detalle la pieza de manera precisa y exacta. El software de la impresora permite el cálculo de material destinado para este proceso, ubicación de la pieza y el tiempo de impresión con el fin de consumir menos material y a su vez un tiempo de reproducción menor.
- Se empleó la máquina de medición de coordenadas para realizar la metrología respectiva entre las dos piezas debido a que es un instrumento de medición y precisión, el cual no necesita un soporte de ayuda del software Geomagic Qualify para dicho proceso, ya que la pieza no tiene una forma o geometría compleja.

- Después de tener las dimensiones de las dos probetas tomadas por la MMC se procedió a realizar una comparación dimensional entre las dos probetas, una comparación dimensional entre la norma ASTM D638-10 y cada una de las probetas y una comparación dimensional en solidworks.

De acuerdo a las comparaciones dimensionales realizadas se obtuvieron los siguientes resultados:

Diferencia promedio de medida entre la pieza escaneada (probeta inyectada) y la pieza realizada en la impresora 3D (probeta reproducida) fue de $\pm 0,34453333$ mm. Las diferencias de medida de cada cota de las dos piezas se encontraron entre el rango de tolerancias permitidas según la norma ASTM D 638-10

La comparación en solidworks se observó que arroja diferentes comparaciones, como en la geometría, documentos y operaciones. Una de las más importantes para este trabajo fueron los volúmenes, obteniendo una similitud muy aproximada.

En la comparación de la norma ASTM D638-10 con cada una de las probetas se evidenció que el molde no fue fabricado con dicha norma, como consecuencia se obtuvieron unas diferencias de medidas y porcentajes de error no apropiados y por ende no cumple con las tolerancias exigidas por la norma.

- A partir de los resultados obtenidos, puede notarse que entre un proceso a otro se presentaron tolerancias y diferencias de medida. Estas diferencias entre la pieza inyectada y la pieza reproducida fueron mínimas y están dentro de las tolerancias permitidas por la norma utilizada, esto ratifica que la digitalización y la reproducción de piezas son procesos exactos y precisos y por lo tanto aplicar ingeniería inversa mediante estos procesos es fiable y eficiente.

RECOMENDACIONES

- Para la digitalización de un objeto se debe tener en cuenta la calibración del equipo debido a que un equipo descalibrado repercute a una adquisición de datos ineficientes en el proceso de digitalización.
- Para no tener inconvenientes con el proceso de digitalización se sugiere que la pieza a escanear no sea de colores brillantes o translucidos. Se recomienda pintar la pieza a escanear de color opaco.
- Se sugiere realizar la captura de datos sobre una superficie plana con targets (puntos de referencia) cuando las dimensiones de la pieza son menores a la superficie, ya que cuando el objeto a digitalizar es mayor es preferible colocar los targets sobre el objeto.
- Si no se cuenta con el software ideal para realizar el post-procesamiento se puede recurrir a realizar dicho proceso mediante el software solidworks.
- El software de la impresora 3D (Objet24) permite el cálculo de material destinado al proceso de impresión, se recomienda utilizar esta herramienta debido a que posiciona la pieza de una manera en que se presente menor consumo de material y tiempo de impresión.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. creaform. 2013. <http://www.creaform3d.com>. [En línea] abril de 2013. [Citado el: 27 de septiembre de 2013.] <http://www.creaform3d.com/es/soluciones-de-metrologia/escaneres-3d-portatiles-handyscan-3d>.
- [2]. Dassault Systèmes SolidWorks Corp. 2010. <http://es.wikipedia.org/>. [En línea] marzo de 2010. [Citado el: 3 de noviembre de 2014.] <http://es.wikipedia.org/wiki/SolidWorks> .
- [3]. Díaz, Luis Eduardo. 2011. *Propuesta de Integración y Fortalecimiento Tecnológico "LABORATORIO DE INGENIERIA INVERSA - Escáner 3D"*. Pereira : ATE GROUP, 2011.
- [4]. INSTRON. 2012. <http://www.instron.com.es/>. [En línea] octubre de 2012. [Citado el: 7 de octubre de 2014.] <http://www.instron.com.es/wa/PrivacyPolicy/privacypolicy.aspx>.
- [5]. IZCALLI, CUAUTITLÁN. 2010. <http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/>. [En línea] agosto de 2010. [Citado el: 16 de Septiembre de 2014.] http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m2/METROLOGIA.pdf.
- [6]. Jarould. 2014. http://es.wikipedia.org. [En línea] 2014. [Citado el: 13 de abril de 2014.] <http://es.wikipedia.org/wiki/PI%C3%A1stico>.
- [7]. Juan F. Arroyave Londoño, Carlos A. Romero Piedrahita y Carlos A. Montilla Montaña. 2013. Tesis. *ingeniería inversa de un reductor de tornillo sinfin corona* . Pereira : s.n., 2013.
- [8]. K, Thomas A & Paul. 2008. <http://es.wikipedia.org/>. [En línea] noviembre de 2008. [Citado el: 22 de septiembre de 2014.] http://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n_3D#Modelado_por_deposici.C3.B3n_de_fundente.
- [9]. LUIS ENRIQUE ISAZA, IVAN YESID MORENO & EDGAR SALAZAR. 2014. TESIS. *APLICACIÓN DE INGENIERÍA INVERSA PARA MANUFACTURA DE FIGURAS ORGÁNICAS COMPLEJAS*. Pereira : s.n., 2014.
- [10]. nosco. 2001. <http://www.nosco.com.sg>. [En línea] enero de 2001. [Citado el: 3 de mayo de 2014.] <http://www.nosco.com.sg/vxelements>.
- [11]. OMOCON. 19-05-2013. Catalogo impresora objet24. *Características y especificaciones de la impresora objet24*. 19-05-2013.
- [12]. Pierce, Rod. 2011. <http://www.disfrutalasmaticas.com/>. [En línea] 5 de octubre de 2011. [Citado el: 7 de noviembre de 2014.] <http://www.disfrutalasmaticas.com/datos/porcentaje-diferencia-error.html>.
- [13]. Red Nacional de Metrología de Chile. 2014. <http://www.celsiusmetrologia.com/>. [En línea] 4 de Abril de 2014. [Citado el: 19 de

Agosto de 2014.]
http://www.celsiusmetrologia.com/index.php?option=com_content&view=article&id=36:i-que-es-la-metrologia&catid=13:noticias&Itemid=40.

[14]. Segovia, Sergio Andrés. 2013. <http://es.wikipedia.org>. [En línea] 6 de mayo de 2013. [Citado el: 12 de octubre de 2013.] http://es.wikipedia.org/wiki/Impresora_3D.

[15]. sharpe, Brown and. 2010. Manual de software Reflex de brown and sharpe . *Maquina de medición de coordenadas*. 2010.

[16]. Stratasys Ltd. 2011. <http://www.stratasys.com>. [En línea] marzo de 2011. [Citado el: 23 de septiembre de 2014.] <http://www.stratasys.com/es/impresoras-3d/design-series/objet24>.

[17]. Suarez, Carlos Andres Trujillo. 2003. <http://docencia.udea.edu.co>. [En línea] Vicerrectoría de Docencia Universidad de Antioquia Medellín - Antioquia, 2003. [Citado el: 6 de septiembre de 2014.] http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/moldes_inyeccion/unidad_2/proceso_inyeccion.html.

[18]. wikimedia commons. 2011. <http://es.wikipedia.org/>. [En línea] mayo de 2011. [Citado el: 22 de octubre de 2014.] http://es.wikipedia.org/wiki/Instrumento_de_medici%C3%B3n.

ANEXO A

Plano tecnológico de la pieza inyectada.

ANEXO B

Plano tecnológico de la pieza reproducida.

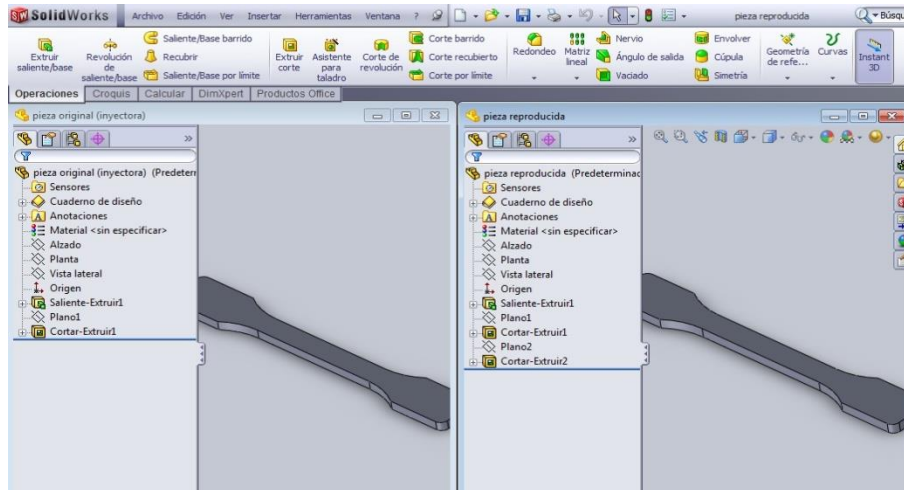
ANEXO C

Plano de referencias de cada cota de la “A” a la “Ñ”.

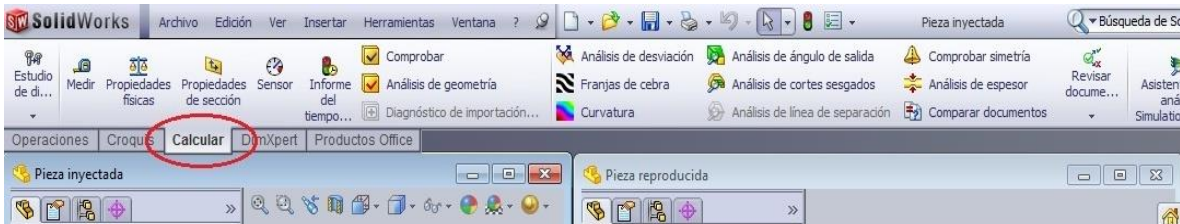
ANEXO D

Descripción de cómo hacer una comparación de archivos CAD en solidworks pasa a paso:

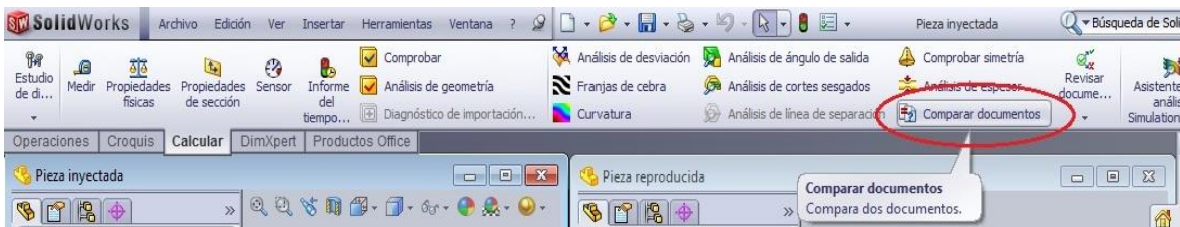
- Se abren los dos archivos CAD los cuales se van a comparar, en nuestro caso la probeta inyectada y la probeta reproducida.



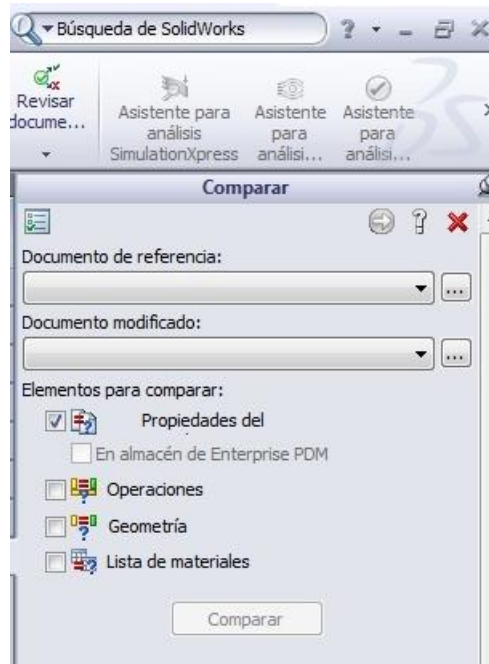
- Teniendo los dos archivos abiertos se da clic en la herramienta “calcular”.



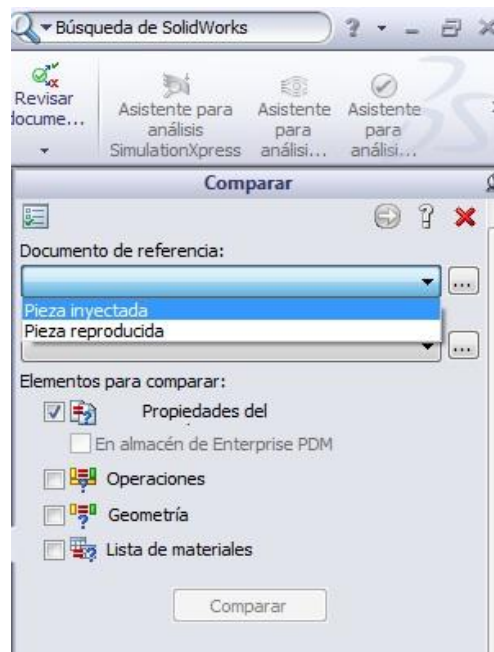
- Luego se procede a dar clic en la herramienta “comparar documentos”.



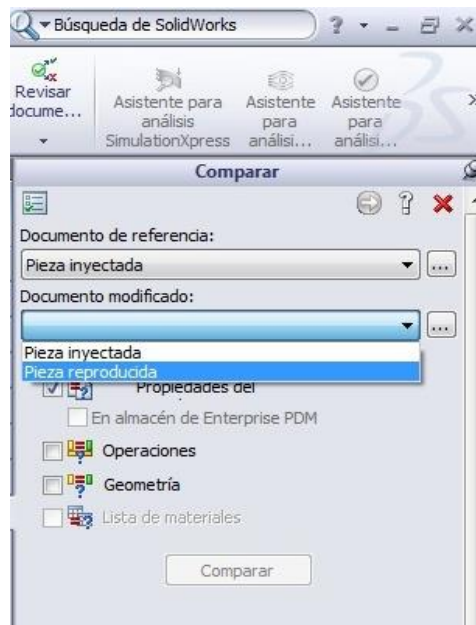
- Después de dar clic aparece la ventana “comparar”. Mostrando los espacios en los cuales se va a seleccionar el documento de referencia y el documento modificado.



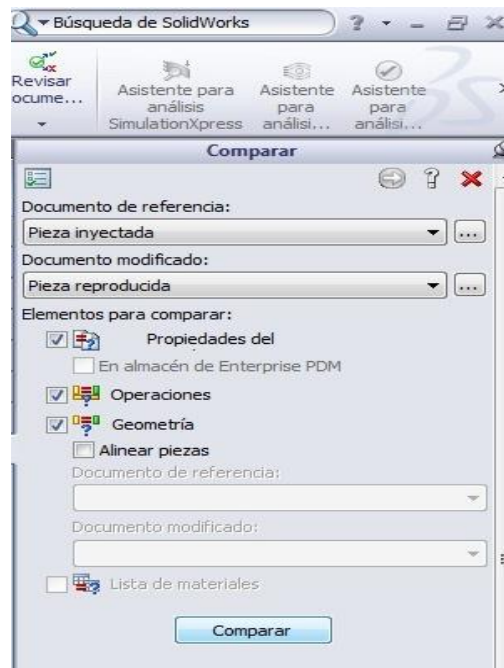
- En la opción “documento de referencia” seleccionamos la probeta inyectada.



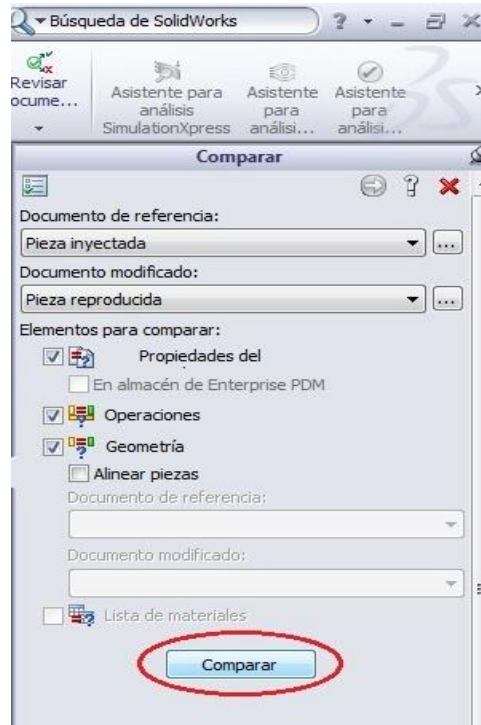
- En la opción “*documento modificado*” seleccionamos la probeta reproducida.



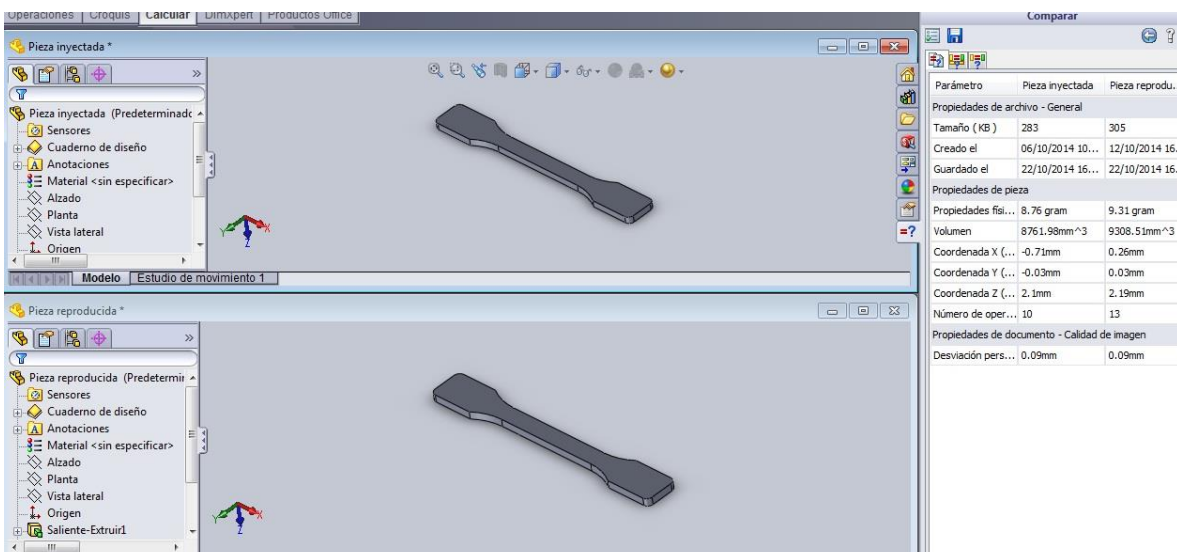
- Luego de haber seleccionado el documento de referencia y el documento modificado, se habilitan las opciones: comparar documentos, comparar operaciones y comparar geometría. Seleccionamos las tres opciones para adquirir una mayor información sobre la comparación.



- Se procede a dar clic en “comparar”.



- Finalmente arroja los resultados de las comparaciones tanto de las propiedades, operaciones y geometría. Dichos resultados se pueden observar en las siguientes imágenes.

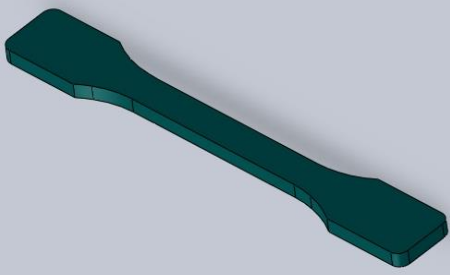


Operaciones Croquis Calcular DimXpert Productos Office

Comparación de volúmenes de Pieza inyectada y Pieza reproducida.SLDPRT

Comparación de volúmenes de

- Sensores
- Anotaciones
- Material <sin especificar>
- Alzado
- Planta
- Vista lateral
- Origen



Modelo Estudio de movimiento 1

Comparar

Parámetro	Pieza inyectada	Pieza reproducida
Propiedades de archivo - General		
Tamaño (KB)	283	305
Creado el	06/10/2014 10...	12/10/2014 16...
Guardado el	22/10/2014 16...	22/10/2014 16...
Propiedades de pieza		
Propiedades fisi...	8.76 gram	9.31 gram
Volumen	8761.98mm ^{^3}	9308.51mm ^{^3}
Coordenada X (...)	-0.71mm	0.26mm
Coordenada Y (...)	-0.03mm	0.03mm
Coordenada Z (...)	2.1mm	2.19mm
Número de oper...	10	13
Propiedades de documento - Calidad de imagen		
Desviación pers...	0.09mm	0.09mm