INFLUENCIA EN LAS TOLERANCIAS DE PRODUCTOS FABRICADOS POR MANUFACTURA ADITIVA.

Autores

Nicolás Felipe Fonseca Muñoz

Jairo Ernesto Quintero Durán

Docente director

Víctor Elberto Ruiz rosas

Universidad Distrital Francisco José De Caldas

Tecnología Mecánica / Ingeniería Mecánica

Bogotá, Colombia

Agosto 2020

CONTENIDO

INFLUENCIA EN LAS TOLERANCIAS DE PRODUCTOS FABRICADOS POR MANUFACTURA ADITIVA 14

RESUMEN DEL PROYECTO 14

INTRODUCCIÓN 15

1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA. 16

1.1 PROBLEMA 16

1.2 JUSTIFICACIÓN 17

1.3 OBJETIVOS 17

1.3.1 Objetivo general. 17

1.3.2 Objetivos específicos. 17

2. MARCO TEÓRICO 18

2.1 TOLERANCIAS DIMENSIONALES 18

2.2 TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS 18

2.3 NORMA ISO 1101 19

2.4 MÉTODO TAGUCHI 19

2.5 ESTADO DEL ARTE 21

2.5.1 Manufactura aditiva. 22

2.5.2 Tecnologías de la impresión 3D. 25

2.5.2.1 Proceso de fabricación con estereolitografía. 25

2.5.2.2 Proceso de fabricación con la Tecnología de Sinterizado Selectivo con Láser. 26

2.5.2.3 Proceso de fabricación con la Tecnología FDM. 26

2.5.3 Materiales de impresión. 28

2.5.4 Aplicaciones de interés en la impresión 3D. 29

2.5.4.1 Fabricación aditiva en el sector médico. 29

2.5.4.2 Fabricación aditiva en los transportes. 30

2.5.4.3 Fabricación aditiva en la arquitectura. 31

2.5.5 Diseño CAD. 31

2.5.6 Creality Ender 3. 32

2.5.6.1 Características de impresora Creality Ender 3. 33

3. DISEÑO EXPERIMENTAL 35

3.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 35

3.1.1 Selección de técnica de manufactura aditiva. 35

3.1.2 Selección de material. 35

3.1.3 Selección de geometría. 35

3.1.4 Creación de diseño en software 35

3.2 PLANEACIÓN DE PROCESO 35

3.2.1 Numero impresiones. 36

3.2.2 Recolección de datos. 36

3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS 36

3.4 VERIFICACIÓN DE CUMPLIMIENTO DEL PROCESO 36

3.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO 37

3.5.1 FDM manufactura aditiva. 37

3.5.2 PLA. 38

3.5.3 Selección de geometría adecuada. 38

3.5.3.1 Descripción del elemento. 38

3.5.4 Creación de diseño en software para la impresión 3D. 39

3.6 PLANEACIÓN DE PROCESO IMPRESIÓN 3D DEL MODELO 40

3.6.1 Parámetros de ruido. 40

3.6.1.1 Software. 40

3.6.1.2 Características de desarrollo CURA. 40

3.6.1.3 Propiedades de impresión. 41

3.6.2 Ruidos de proceso. 45

3.6.2.1 Material de soporte 46

3.6.2.2 Posicionamiento y orientación del elemento. 46

3.6.2.3 Relleno de soporte. 47

3.6.2.4 Temperatura de impresión. 47

3.6.2.5 Refrigeración. 47

3.7 CANTIDAD DE PIEZAS A IMPRIMIR 47

3.8 FACTORES DE ESTUDIO 49

4. EJECUCIÓN 50

4.1 METODOLOGÍA TAGUCHI 50

4.1.1 Matriz experimental 50

4.2 OBTENCIÓN DE DATOS 52

4.2.1 Metodología metrológica 52

4.3 SECTORES DE MEDICIÓN 52

4.3.1 Medida 1. 52

4.3.2 Medida 2. 53

4.3.3 Medida 3. 54

4.3.4 Medida 4. 54

4.3.5 Medida 5. 55

4.3.6 Medida 6. 55

4.4 EXPERIMENTACIÓN CON EL MÉTODO TAGUCHI 56

4.4.1 Identificación de los elementos impresos. 56

4.4.2 Factores y niveles. 56

4.4.3 Estudio en Minitab. 57

4.4.3.1 Diseño de Taguchi para Minitab. 57

4.5 IMPRESIONES EN 3D 59

4.6 ARREGLO EXPERIMENTAL POR TAGUCHI 61

4.7 TOMA DE MEDIDAS 61

4.7.1 Toma de medida 1, 2, 3. 61

4.7.1.1 Valores tomados por la medición obtenida para el calibrados. 64

4.7.2 Toma de medida 4,5. 66

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS 68

5.1 INTERPRETACIONES DE LOS VALORES POR MEDIO DE MINITAB 68

Relación de señales de ruido. 68

5.1.2 Análisis de gráficos ortogonales. 68

5.1.2.1 Gráficas de medidas con calibrador (medias 1,2,3,4). 69

5.1.2.2 Gráficas de medidas con micrómetro (medias 5,6). 76

5.1.3 Análisis tabla de respuestas. 79

5.1.3.1 Tablas de respuestas. 79

5.1.3.2 Niveles adecuados de impresión para cada medida. 83

5.1.4 Análisis de porcentaje de contribución de las propiedades de impresión. 86

5.2 ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE PROCESO 89

5.2.1 Prueba de hipótesis. 90

5.2.2 Valores de probabilidad. 90

5.2.3 capacidad del proceso. 96

5.3 PROPIEDADES ADECUADAS 103

5.4 TRABAJOS FUTUROS 114

6. CONCLUSIONES 115

BIBLIOGRAFÍA 117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Propiedades de impresión en 3D, ventana (CONFIGURACIÓN DE IMPRESIÓN), CURA. 44

Tabla 2. Posibles orientaciones del elemento de impresión (ORIENTACIÓN), CURA.....48

Tabla 3. Variaciones en los factores de impresión.....49

Tabla 4. Diseño clásico, estudio de factores con corridas (Kavanaugh, 2002).....51

Tabla 5. Diseño Taguchi, estudio de factores con corridas (Kavanaugh, 2002) 51

Tabla 6. Propiedades para cada corrida, con su código determinado por nivel.....58

Tabla 7, porcentaje de material gastado por PLA y tiempos de impresión por corrida.....60

Tabla 8. Promedio de medidas obtenidas para cada corrida según la medida 1...64

Tabla 9. Promedio de medidas obtenidas para cada corrida según la medida 2. Promedio de medidas obtenidas para cada corrida según la medida 2.....64

Tabla 10. Promedio de medidas obtenidas para cada corrida según la medida 3.65

Tabla 11. Promedio de medidas obtenidas para cada corrida según la medida 4.65

Tabla 12. Promedio de medidas obtenidas para cada corrida según la medida 4.67

Tabla 13. Promedio de medidas obtenidas para cada corrida según la medida 5.67

Tabla 14. Tabla de resultados según la medida 1. 80

Tabla 15. Tabla de resultados según la medida 2. 80

Tabla 16. tabla de resultados según la medida 3.....81

Tabla 17.tabla de resultados según la medida 4.....81

Tabla 18.tabla de resultados según la medida 5.....82

Tabla 19. Tabla de resultados según la medida 6. 82

Tabla 20. Tabla de resultados según la medida 1 83

Tabla 21. Tabla de resultados según la medida 2. 84

Tabla 22. Tabla de resultados según la medida 3. 84

Tabla 23. Tabla de resultados según la medida 4. 85

Tabla 24. Tabla de resultados según la medida 5. 85

Tabla 25. Tabla de resultados según la medida 5. 86

Tabla 26. Análisis de varianza para la contribución de las propiedades de impresión para la medida 1.....86

Tabla 27- Análisis de varianza para la contribución de las propiedades de impresión para la medida 2.....87

Tabla 28. Análisis de varianza para la contribución de las propiedades de impresión para la medida 3.....87

Tabla 29. Análisis de varianza para la contribución de las propiedades de impresión para la medida 4.....88

Tabla 30. Análisis de varianza para la contribución de las propiedades de impresión para la medida 5.....88

Tabla 31.Análisis de varianza para la contribución de las propiedades de impresión para la medida 6. Autoría propia.....89

Tabla 32. Descripción de los Cp para análisis capacidad del proceso. 100

Tabla 33. Descripción de los Cpk para análisis capacidad del proceso. 101

Tabla 34. Análisis de capacidad de proceso.....102

Tabla 35. Niveles adecuados.....103

Tabla 36. valores de medidas para impresión real, simulación por minitap, valor nominal. 104

Tabla 37. Datos por medida para la última impresión.....105

Tabla 38. Análisis de capacidad de proceso para una tolerancia de 1 mm 112

Tabla 39. Análisis de capacidad de proceso para una tolerancia de 0.4 mm 113

ÍNDICE DE IMÁGENES

imagen 1. Proceso de impresión por estereolitografía. (C., 2019) 23

imagen 2. Imagen del primer riñón impreso por 3D. (Es la bioimpresión 3D el futuro de la medicina a medida, 2018) 24

imagen 3. Proceso de impresión 3D por estereolitografía (Torreblanca Díaz, 2016) 25

imagen 4. Proceso de impresión 3D por Sinterizado Selectivo con Láser (Torreblanca Díaz, 2016) 26

imagen 5. Proceso de impresión 3D por FDM. (Torreblanca Díaz, 2016) 27

imagen 6. Imagen de tejido bio-impreso (C., 2019) 30

imagen 7. Maqueta a escala de motor desarrollada por la marca Toyota por impresión en 3D (Martin, 2016) 31

imagen 8. Casa impresa por la compañía Apis Cor (Impresoras3D.com, 2018) .. 31

imagen 9. Imagen de la impresora Creality Ender 3. (C., 2019) 32

imagen 10. Ficha Técnica impresora Creality Ender 3 (C., 2019) 33

imagen 11.Ficha de información adicional de la impresora Creality Ender 3 (C., 2019) 34

imagen 12. Modelado soporte para asta modelado en Solid Edge. 39

imagen 13. Propiedades de impresión en 3D, ventana. (CONFIGURACION DE IMPRESION) CURA. 41

imagen 14. Propiedades de calidad, ventana. (CONFIGURACION DE IMPRESION) CURA. 42

imagen 15. Propiedades de densidad de relleno, ventana. (CONFIGURACION DE IMPRESION) CURA. 42

imagen 16. Propiedades de patrón de relleno ventana. (CONFIGURACION DE IMPRESION) CURA 43

imagen 17. Propiedades de posición en 3D, ventana. (ORIENTACÓN), CURA. 45

imagen 18. Propiedades de soporte, ventana. (CONFIGURACIÓN DE IMPRESIÓN) CURA. 46

imagen 19. Posicionamiento del elemento en CURA. 47

imagen 20. Puntos de medida 1, toma de medidas del diámetro interno. 53

imagen 21. Puntos de medida 2, toma de medidas del ancho de la pieza. 53

imagen 22. Puntos de medida 3, toma de medidas del ancho de la pieza. 54

imagen 23. Puntos de medida 4, toma de medidas del ancho de la pieza. 54

imagen 24. . Puntos de medida 5, toma de medidas del ancho de la pieza. 55

imagen 25. Puntos de medida 6, toma de medidas del espesor de los esfuerzos. 55

imagen 26. Extrusión del número de corrida correspondiente 56

imagen 27. . Ventana de diseño de Taguchi Minitab para definición de número de niveles y factores. 57

imagen 28. Resumen de diseño Taguchi. Minitab. 58

imagen 29. Pieza impresa en 3D foto 1. 59

imagen 30.Pieza impresa en 3D foto 2 59

imagen 31. Pieza impresa en 3D foto 3. 60

imagen 32. Calibrador digital. 61

imagen 33. Toma medida 1. 62

imagen 34.Toma medida 2. 63

imagen 35. Toma medida 3. 63

imagen 36. Micrómetro digital. 66

imagen 37. Ventana análisis de diseño, Identificación de análisis de ruido para el programa de Minitab. 68

ÍNDICE DE GRÁFICAS.

Grafica 1.Gráfica de efectos principales para medias, medida 1. 69

Grafica 2. Gráfica de efectos principales para relaciones de ruido, medida 1. 70

Grafica 3. Grafica de efectos principales para medias, medida 2. 71

Grafica 4.Gráfica de efectos principales para relaciones de ruido, medida 2. 71

Grafica 5. Gráfica de efectos principales para medias, medida 3. 72

Grafica 6. Gráfica de efectos principales para relaciones de ruido, medida 3. 73

Grafica 7. Gráfica de efectos principales para medias, medida 4. 74

Grafica 8. Gráfica de efectos principales para relaciones de ruido, medida 4. 75

Grafica 9. Gráfica de efectos principales para medias, medida 5. 76

Grafica 10. Gráfica de efectos principales para relaciones de ruido, medida 5 77

Grafica 11. Gráfica de efectos principales para medias, medida 6. 78

Grafica 12. Gráfica de efectos principales para relaciones de ruido, medida 6. 79

Grafica 13. Gráfica prueba de normalidad para la medida 1. 91

Grafica 14. Gráfica prueba de normalidad para la medida 2. 92

Grafica 15. Gráfica prueba de normalidad para la medida 3. 93

Grafica 16. Gráfica prueba de normalidad para la medida 4. 94

Grafica 17. Gráfica prueba de normalidad para la medida 5. 95

Grafica 18. Gráfica prueba de normalidad para la medida 6. 96

Grafica 19. Análisis de capacidad para la medida 3. 98

Grafica 20. Análisis de capacidad para la medida 4. 98

Grafica 21. Análisis de capacidad para la medida 5. 99

Grafica 22. Análisis de capacidad para la medida 6. 99

Grafica 23. Gráfica prueba de normalidad para la medida 1 impresión adecuada. 106

Grafica 24. Gráfica prueba de normalidad para la medida 2 impresión adecuada. 107

Grafica 25. Gráfica prueba de normalidad para la medida 3 impresión adecuada. 108

Grafica 26. Gráfica prueba de normalidad para la medida 4 impresión adecuada. 109

Grafica 27. Gráfica prueba de normalidad para la medida 5 impresión adecuada 110

Grafica 28. Gráfica prueba de normalidad para la medida 6 impresión adecuada. 111

INFLUENCIA EN LAS TOLERANCIAS DE PRODUCTOS FABRICADOS POR MANUFACTURA ADITIVA

RESUMEN DEL PROYECTO

En el presente documento se describe el análisis dimensional de elementos desarrollados por la impresión en 3D, teniendo en cuenta las propiedades de desarrollo que puede alcanzar estas máquinas, específicamente el proyecto se enfocara en la tecnología de impresión FDM (Modelado por Deposición Fundida), se realizó varias impresiones con configuraciones de propiedades distintas, analizando cuales son las propiedades de mayor afectación a las especificaciones dimensionales, por ello se utilizó una técnica estadística experimental para determinar la mejor combinación de variables del producto.

Además, este proyecto describe las etapas de diseño de los productos elaborados por la manufactura aditiva, desde su diseño hasta la posible evaluación de calidad.

Para las impresiones realizadas, se tuvo en cuenta su posible ensamblabilidad, por ello se estudió un elemento con geometrías específicas y se desarrolló las impresiones a una escala acorde con los alcances de impresión de la maquina utilizada, analizando capacidades de proceso en aspectos de tolerancias posibles que beneficien o afecten los resultados de medición obtenidos, aportando un nuevo estudio en la precisión y exactitud de las manufacturas aditivas.

Se apoyó el estudio por medio de un programa estadístico, en el cual puede generar una simulación hacia los resultados de impresión y así poder comparar con los resultados reales obtenidos con los de la simulación, el programa de apoyo en el minitab 19.

INTRODUCCIÓN

A través del tiempo la manufactura aditiva (AM) ha tomado un papel importante en el área de la industria, reemplazando varios procesos de diseño y elaboración de distintos productos. Su principal área de reconocimiento y desarrollo, es en el campo de la biomedicina, en la cual se ha observado un crecimiento notorio; aparte de este sector de aplicación, se encuentran otros en los que esta tecnología es muy significativa, una de estos es el campo de la mecánica , en este, la industria se ha enfocado en estudiar diferentes características, como las nuevas tecnologías de desarrollo, procesos de producción, implementación de distintos materiales, consumo de energías, tiempos de producción, complejidad de proceso y otros factores que pueden ser de gran importancia a la hora de la selección de métodos de producción, todo esto ha sido de utilidad para los distintos métodos de fabricación industrial, pero a su vez necesitan de precisión en cuanto a temas dimensionales y de tolerancias, bien sea por cierres con ajustes, ajustes deslizantes, temas de fricción, rozamiento y ensamblabilidad.

1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA.

1.1 PROBLEMA

Teniendo en cuenta que la AM (manufactura aditiva) es un proceso de producción dado por múltiples variables que pueden llegar a ser asociadas a la calidad de diferentes productos, la investigación estará enfocada en el estudio e interpretación de las variables que afecten directamente con los resultados obtenidos por la impresión 3D, observando el error dimensional de las tolerancias obtenidas para un elemento que normalmente requiere cumplir una ensamblabilidad o una función establecida.

Sin embargo, “una de las problemáticas, o incertidumbres existentes al momento de fabricar un elemento, es la elección de parámetros de impresión para lograr obtener las propiedades mecánicas deseadas” (Alvarez C, Lagos C, & Aizpun, 2016)

Para la obtención de los resultados, se contó con condiciones fijas o constantes durante el desarrollo de las pruebas, por ejemplo, el tipo de manufactura aditiva con el cual se desarrolló el proceso, tipo de material de impresión, tipo de material de soporte, acabados posteriores y entorno en el que se imprimieron los elementos; por otra parte, existirán características del proceso que se encontraron en constante variación, con ello se observa cómo las distintas características de configuración logran afectar la calidad de los elementos desarrollados.

La manufactura aditiva puede ser potenciada debido a las ventajas que se tienen con respecto a otras clases de procesos de elaboración de elementos, ventajas como la personalización de piezas, simplificación de los procesos de producción, disminución de acabados posteriores, ahorros en el desperdicio de materiales, reducción de tiempos de fabricación, ahorro de maquinaria y personal, y producción de lotes pequeños sin realizar alteraciones o cambios de formatos en equipo.

Si bien esta manufactura posee cantidad de ventajas, estaría bien agregarle una nueva en cuento a la dimensionaldad por medio de un diseño experimental, y de esta manera se pueda potencializar la importancia de las tolerancias obtenida por la impresión en 3D.

Hoy en día las máquinas más comerciales de impresión 3D, se están utilizando para la elaboración de elementos decorativos o de entretenimiento, por este motivo la precisión que se puede alcanzar en un modelo con respecto a los diseños no tiene tanta relevancia, pero el error que se puede presentar en el

producto puede afectar la ensamblabilidad o alterar resultados de los elementos desarrollados para el cumplimiento de una función específica.

Buscando favorecer los métodos de manufactura aditiva, se desarrollaron pruebas de impresión alterando y modificando las configuraciones de variables que pueden cambiar las tolerancias y valores dimensionales. Esto se dio por medio de la realización de tomas de mediciones en las piezas impresas en 3D, a través de distintos elementos de medición, y posterior a esto se implementó un diseño experimental con el objetivo de la obtención de conclusiones que expliquen de manera precisa las influencias de las variables en las tolerancias dimensionales.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo del proyecto tiene como finalidad dar importancia a las tolerancias dimensionales de productos creados por manufactura aditiva, este deseo nace debido a que en la industria no se obtiene gran cantidad de desarrollos que requieran de exactitud en estos parámetros, por lo tanto, dicha tecnificación sería de gran importancia para la calidad del producto y para fomentar el prototipado de elementos elaborados por la AM.

Se considera necesaria dicha tecnificación para darle un nuevo enfoque a la AM en ámbitos de desarrollo, elaboración de herramientas y algunas piezas con cierres por ajustes, ajustes deslizantes o ensamblabilidad, teniendo en cuenta que los procesos de manufactura para la elaboración de estas conllevan más tiempos de producción y de igual forma se consumen más recursos de carácter económico y energético.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general.

Determinar la influencia en las tolerancias de productos fabricados bajo manufactura aditiva.

1.3.2 Objetivos específicos.

Identificar completamente los parámetros involucrados en el proceso de manufactura aditiva.

Desarrollar un diseño experimental para establecer relación entre tolerancias y procesos.

Ejecutar los procesos o experimentos relacionados con la manufactura aditiva.

Análisis completo de resultados.

2. MARCO TEÓRICO

Las Tolerancias Dimensionales y Geométricas son de gran aporte en los procesos de manufactura, cumpliendo así algunas especificaciones y funcionalidades necesarias para cumplir su objetivo, se usan para brindar información técnica detallada de la pieza a fabricar y también para dar un cierto margen de error aceptable, con lo que se pretende incrementar la calidad en algún producto e incrementar la producción de este.

2.1 Tolerancias dimensionales

Bajo las tolerancias dimensionales se establecen límites superiores e inferiores, y dentro de estos se encuentra el margen de error aceptable para definir si la pieza es apta para cumplir su finalidad. Según este criterio, todas las dimensiones nominales van acompañadas de dichos límites, es por eso que las cotas de descripción dimensional de los planos, están acompañadas de las tolerancias y del valor nominal o deseado.

Las piezas industriales se pueden clasificar en dos grupos: Buenas y Malas. Las buenas son el grupo que pertenecen aquellas piezas, cuyas dimensiones quedan dentro del campo de margen de error aceptable establecido. En el caso de las malas se puede dividir en malas por Exceso de material y Malas por Defecto de material, las únicas clasificaciones de piezas que se podrían rescatar con un proceso posterior (desprendimiento de material) seria las de exceso de material, ya que las de defecto de material no son tan fáciles de volver a procesar, todo esto depende del desarrollo de manufactura que se esté desarrollando.

2.2 Tolerancias geométricas

Las tolerancias geométricas se utilizan para aquellas piezas que cumplen alguna función establecida para un ensamble o conjunto determinado y es así que la fiabilidad del producto depende de los elementos de ensamble o desarrollo. Es usual la siguiente clasificación de estas tolerancias:

• Orientación (paralelismo, perpendicularidad, inclinación)

• Formas primitivas (rectitud, planicidad, redondez, cilindricidad)

• Oscilación (circular radial, axial o total)

• Formas complejas (perfil, superficie)

• Ubicación (concentricidad, posición)

Valorar el cumplimento de estas exigencias, complementarias a las tolerancias dimensionales, requiere medios metrológicos y métodos de medición complejos.

2.3 Norma ISO 1101

En los procesos de fabricación no se obtienen piezas con dimensiones nominales, esto lleva muchas veces a que la utilidad de las empresas sea incierta o muy baja, por esta razón, se crean agrupaciones encargadas de la estandarización de los procesos, arrojando normativas bajo las cuales se rigen, de esto nace la norma ISO 1101

Existen toda una familia de normas denominada “Especificación Geométrica de Producto” GPS las cuales estructuran y ordenan las normas que diversos comités técnicos de ISO preparaban y publicaban a medida que surgían necesidades específicas.

Es necesario establecer la relación existente entre:

− la pieza creada por el diseñador;

− la pieza fabricada;

− la pieza efectivamente medida.

Las normas GPS ayudan a realizar una interpretación adecuada de las relaciones existentes.

2.4 Método Taguchi

Este método es una técnica que se aplica de manera contundente a los controles de calidad, está centrado en la ingeniería robusta del diseño de un proceso y su meta es acercarse a las especificaciones deseadas de un producto, además busca reducir los parámetros de proceso que no pueden ser controlados y de esta manera cumplir su meta, estos parámetros son denominados señales de ruido. Esta metodología está definida por las siguientes etapas:

Identificación de todos los valores de diseño, reconocer los niveles de experimentación y los factores de ruido.

Construcción de matriz de diseño, esta construcción se da para los factores de diseño y los factores de ruido establecidos.

Realización del experimento y análisis estadístico, calculando la media y la proporción señal de ruido, con respecto a estos se presenta la optimización de los factores de diseño con las siguientes dos etapas: primero determinar los factores que minimizan y maximizan la proporción señal de ruido y segundo seleccionar algún factor que al interactuar sobre el nivel de respuesta no se noten alteraciones drásticas sobre la proporción señal de ruido, dicho factor se manipulara para llegar a los niveles deseados

Según Taguchi la mejora de un proceso debe estar orientada a disminuir la variabilidad del valor nominal (N), el valor N por lo general es igual al punto medio de las especificaciones.

En la siguiente imagen se muestra un esquema de actividades de las firmas desde la invención del producto hasta su llegada al mercado. El flujo se divide en tres etapas, conocidas por las expresiones inglesas upstream, midstream, y downstream (Yacuzzi, Martín, Quiñones, & Popovsky, 2004).

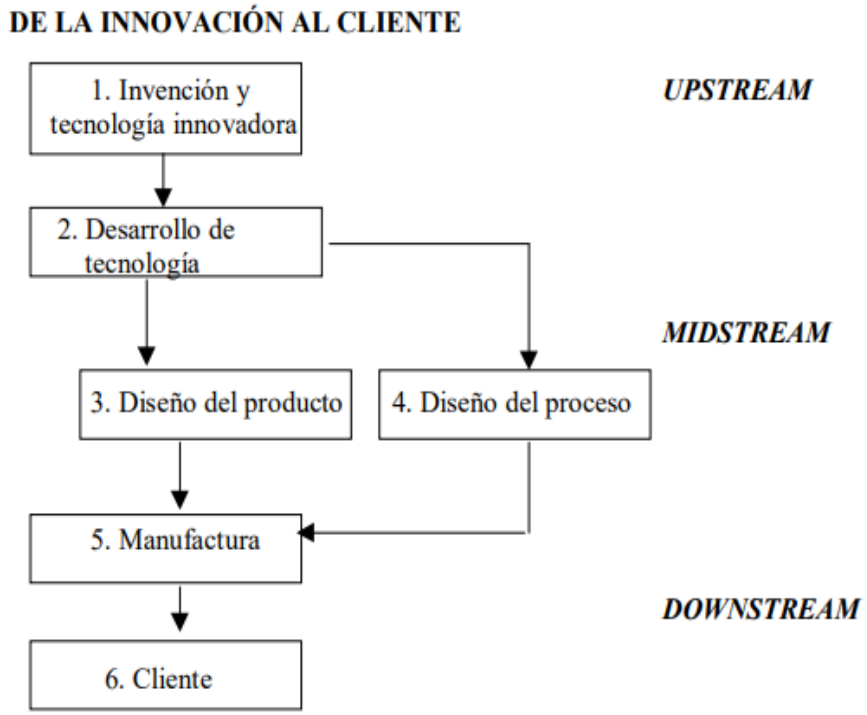


figura 1. Esquema de actividades de una empresa desde la invención del producto hasta su llegada al mercado.

Taguchi se apartó de la sabiduría convencional, que suponía que calidad equivalía a producir dentro de los márgenes de tolerancia, y postuló que el costo de la mala calidad se incrementa con el alejamiento del valor de diseño, produciendo una

pérdida para el cuerpo social. La función de pérdida vale cero cuando el desvío con respecto al parámetro objetivo es nulo y se incrementa cuadráticamente cuando los valores de los productos fabricados se acercan a los límites de tolerancia (Yacuzzi, Martín, Quiñones, & Popovsky, 2004) es así que se presenta la función de pérdida la cual está asociada con las siguientes características de calidad:

k es una constante específica de cada caso considerado;

T es un valor objetivo que la dimensión de interés debe tener (T mide la calidad nominal o de diseño)

y es el apartamiento que la dimensión de interés presenta con respecto al valor objetivo.

Y con dichas características poder calcular L(y) indica la pérdida (en unidades monetarias) que sufre la sociedad. Para poder obtener este valor se calcula con la siguiente fórmula.

$$L(y) = k(y - T)^2$$

figura 2. Cálculo de pérdida

2.5 Estado del arte

La búsqueda y selección de artículos relacionados con la MA fue dirigida a bases de datos de carácter académico y científico en las que se pudieran encontrar algunos antecedentes de investigaciones que aportaron datos de complemento a nuestra investigación.

Se realizó búsqueda de información por medio de la web libre de Google y debido a las facilidades otorgadas al estudiantado por parte de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, se consultaron algunas bases de datos como: EBSCO host, ScienceDirect y Dialnet. Los criterios relacionados a la búsqueda fueron artículos en los cuales presentan en su contenido una estructura de carácter investigativo (objetivos, metodología, conclusiones). Se pudo obtener varios artículos al introducir en los buscadores de las bases de datos, algunas palabras claves como, manufactura aditiva, impresión 3D, historia impresión en 3D, materiales de impresión 3D, PLA.

Además, se obtuvo documentación técnica otorgada web libre de Google sobre la máquina de utilidad en el proceso.

2.5.1 Manufactura aditiva.

La manufactura aditiva es un nueva tecnología de producción que se encarga de la fabricación de objetos en tres dimensiones por medio de diferentes técnicas de agrupación de capas continuas de material, es llamada de esta manera porque la creación de las piezas no se dan por la sustracción o desprendimiento del material sino por la adición, capa por capa, basado en un modelado de computación 3D obtenido por un software de diseño o utilizando un escáner 3D que permite replicar objetos existente.

Este proceso abarca ventajas demasiado útiles, entre las cuales encontramos la elaboración de piezas mecánicas con forma compleja, cortos tiempos de prototipado que está basado en la rapidez con la que se puede crear el diseño y el modelado de la pieza, y gran variedad de materiales contenidos para la aplicación de esta tecnología.

La impresión en 3D se utiliza en varios campos de ingeniería, y tiene un gran acogimiento debido a que la mayoría de componentes aditivos suelen ser livianos, duraderos y mucho más eficientes que los de las piezas maquinadas o desarrolladas de manera tradicional. La ensamblabilidad o soldadura necesaria es nula ya que se pueden fabricar en una sola pieza, además, como las partes aditivas son creadas desde cero, generan menos material de desecho.

Antes de la llegada de la impresión en 3D existían diferentes técnicas de obtención de objeto, es el caso de la sustracción, la fundición, la flexión y amoldamiento de materiales, técnicas que pueden ser demasiado efectivas, pero que a su vez llegan a ser costosas.

El inicio de esta tecnología tiene su origen en la invención de la impresora convencional de tinta hacia 1976, la impresión 3D se da aproximadamente a mediados de los 80 con su creador Charles Hull, por medio de la SLA sistema de estereolitografía (sistema de AM trabajada por el depósito líquido de resina foto polimérica que es curada mediante exposición selectiva a la luz, lo cual inicia la polimerización y solidifica las áreas expuestas), dando origen a la compañía 3D SYSTEMS en 1986.

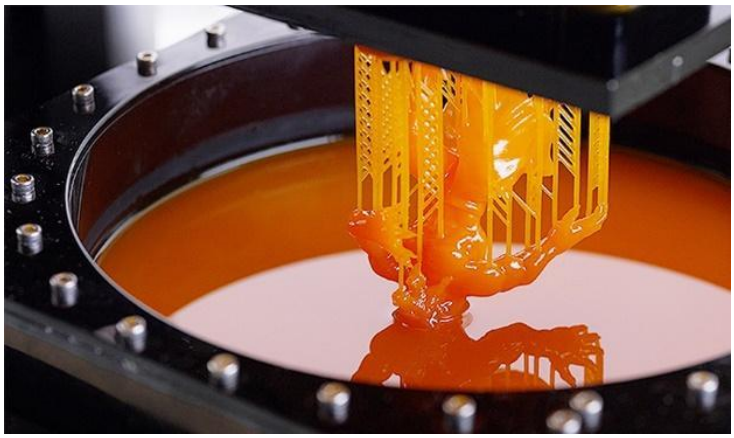


imagen 1. Proceso de impresión por estereolitografía. (C., 2019)

Posterior a esto Carl Deckard en 1987 desarrolla el sinterizado selectivo por láser SLS en el cual “los materiales en polvo son selectivamente consolidados al fundirlos juntos usando una fuente de calor, como láser o rayo de electrones” (México, 2019), en el año siguiente Scott Crump fundador de Stratasys, inventa el modelado por disposición fundida FDM.

Para el año de 1993 el Instituto de Tecnología de Massachusetts MIT desarrolla la impresión 3D por inyección 3DP la cual trabaja por medio de “Agentes líquidos de unión que son selectivamente aplicados en pequeñas capas de material en polvo para construir piezas capa por capa” (México, 2019). En 1999 este tipo de tecnología comienza una evolución destinada al campo medicinal, el Instituto de Medicina Regenerativa de la Universidad de Wake Forrest introduce en seres humanos los primeros órganos modificados por medio de implantes arteriales impresos en 3D, de esta manera la AM se instala en un lugar en el que nunca volvería a salir, por el contrario, encontraría una evolución consecutiva. Es así que en el 2002 se funda Envision tec. un instituto de la universidad de Wake Forrest quienes logran imprimir el primer órgano en 3D (riñón completamente funcional).



imagen 2. Imagen del primer riñón impreso por 3D. (Es la bioimpresión 3D el futuro de la medicina a medida, 2018)

En la medicina, la impresión de 3D es utilizada principalmente en las siguientes categorías: creación de prótesis personalizadas; fabricación de órganos y tejidos; implantes y modelos anatómicos; y la investigación farmacéutica en relación con las formas de dosificación y envasado de medicamentos.

Para el 2006 se construyó la primera máquina del tipo SLS (Sinterización de láser selectivo) viable, también se construye la primera máquina para imprimir en distintos materiales y, además, se ofrece la primera impresora de 3D en código abierto (open source hardware).

En el 2008 se lanza el proyecto RepRap, que tiene la forma de una impresora 3D libre capaz de imprimir objetos plásticos, de esta manera se podría imprimir la mayoría de sus propios componentes permitiendo reparar sus mismos componentes o hacer una impresora completamente nueva. En este mismo año se crea una prótesis de pierna capaz de ayudar en el proceso de movilidad, aplicando de esta manera las tecnologías en los desarrollos de las prótesis, en el año siguiente se profundiza en la bio-impresión imprimiendo el primer vaso sanguíneo.

Después de la evolución tan notoria de la AM se observa que la impresión en 3D tiene alcances amplios a la hora de diseñar, y se desarrollan prototipos de máquinas complejas en las que la mayoría de sus elementos son casi impresos por este tipo de tecnologías, es el caso de aviones o coches impresos en 3D para ahorrar peso, tiempo de fabricación, costos del mismo y consumo de combustible. Estos prototipos surgen en el año 2011 y el mismo año la empresa Materialise ofrece un servicio de impresión 3D de oro de 14 Kilates y plata de ley (aleación popular que está compuesta por un 92.5% de plata y un 7.5% de cobre), ampliando el mercado a los joyeros con diseños más económicos utilizando este material.

(Gómez Reyes, 2017) hace referencia que en el 2014 la impresión 3D se comenzó a utilizar de forma masiva para la manufactura instantánea de diversos objetos domésticos y para la generación de tejidos orgánicos a partir de bases celulares.

2.5.2 Tecnologías de la impresión 3D.

En la actualidad existen varios tipos de tecnologías para poder realizar la creación de alguna pieza por medio de la AM, y se diferencian por la agrupación de capas, sistema de movimiento para imprimir, materiales utilizados, estado del material a utilizar y forma de solidificación o secado.

Las tecnologías de fabricación digital aditiva más utilizada son:

2.5.2.1 *Proceso de fabricación con estereolitografía.*

Este proceso según (Torreblanca Díaz, 2016) Se envía el archivo digital desde un software CAD 3D al software de la máquina, la cual va generando capas sólidas horizontales a través de la fotopolimerización de una resina foto-sensible o foto-reactiva, que se encuentra en estado líquido y se va solidificando al ser tocada por un rayo láser ultravioleta; estas capas se van adhiriendo sucesivamente, una tras otra, hasta materializar tridimensionalmente el objeto requerido.

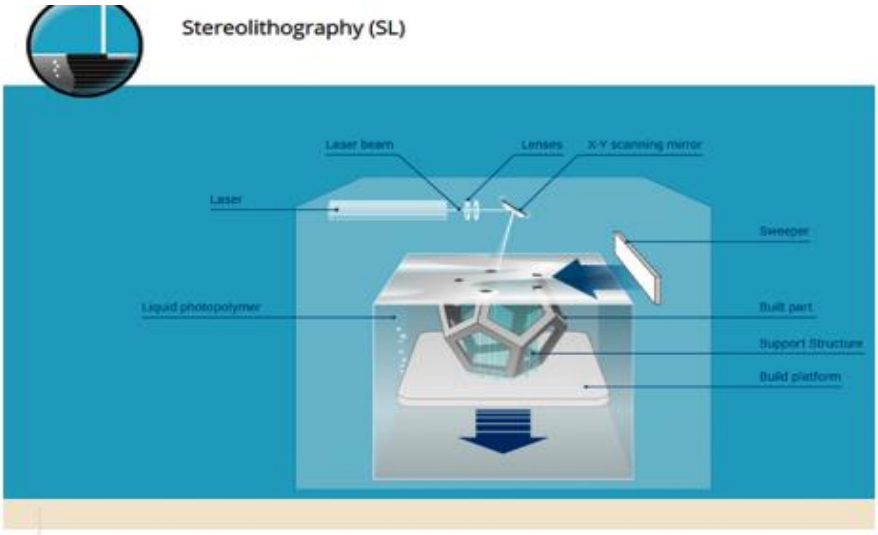


imagen 3. Proceso de impresión 3D por estereolitografía (Torreblanca Díaz, 2016)

2.5.2.2 *Proceso de fabricación con la Tecnología de Sinterizado Selectivo con Láser.*

Se envía el archivo digital desde un software CAD 3D al software de la máquina, posteriormente un láser de CO2 de alta potencia va fusionando y solidificando en forma selectiva el polvo (polimérico, cerámico o de vidrio), el cual está depositado en una plataforma a una temperatura levemente inferior a su punto de fusión, generando capas horizontales sucesivas las cuales se adhieren una tras otra hasta construir tridimensionalmente el objeto enviado en forma digital.

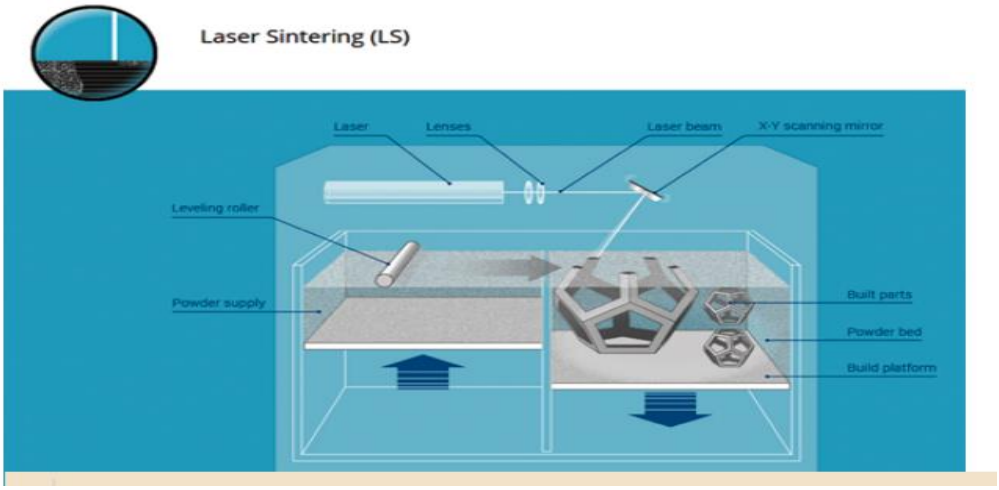


imagen 4. Proceso de impresión 3D por Sinterizado Selectivo con Láser (Torreblanca Díaz, 2016)

2.5.2.3 *Proceso de fabricación con la Tecnología FDM.*

Se envía el archivo digital desde un software CAD al software de la máquina, posteriormente un filamento de un polímero termoplástico que está en un rollo pasa por una boquilla metálica que está a una temperatura superior a la temperatura de fusión del polímero, este se va derritiendo y generando capas sucesivas y horizontales de material que se va adhiriendo una tras otras hasta formar tridimensionalmente el objeto físico que fue enviado a través de un archivo digital.

Por otra parte, “en los procesos de Modelado por Deposición Fundida se pueden controlar las propiedades mecánicas y la calidad superficial, variando los parámetros de impresión, por ejemplo: espesor de capa, dirección de la deposición, número de capas superficiales, distancia entre extrusor y plataforma, etcétera” (Alvarez C, Lagos C, & Aizpun, 2016)

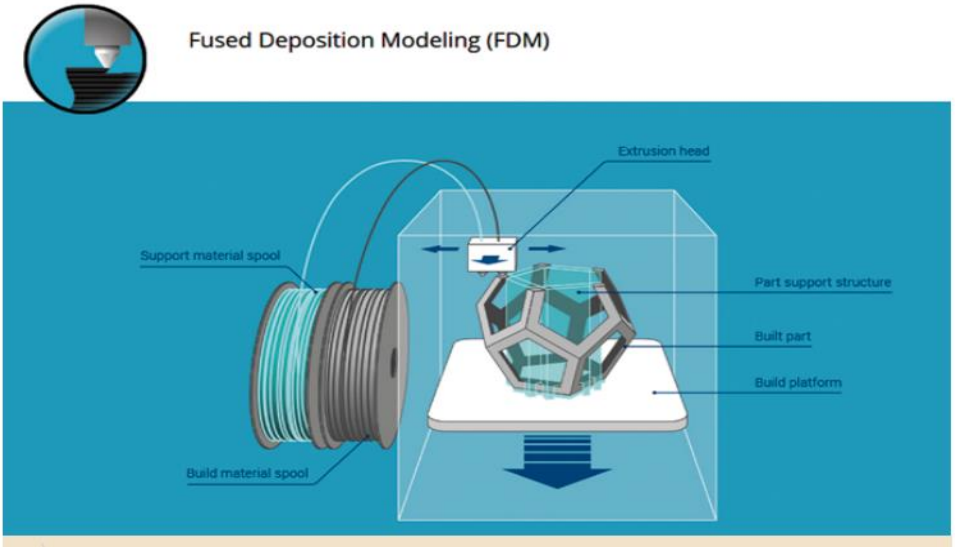


imagen 5. Proceso de impresión 3D por FDM. (Torreblanca Díaz, 2016)

Según las características y formas necesarias en la elaboración de un elemento, se debe realizar una selección asertiva del tipo de AM que se acomode a la fabricación final y a los requerimientos que pueda ofrecer la empresa fabricadora hacia el cliente, acotando de manera diminutiva variables como peso, material, velocidad de producción, gastos energéticos, funcionalidad y complejidad de desarrollo, estas son generalmente las consideraciones principales a tener en cuenta a la hora de elegir un proceso de impresión en 3D.

Para el desarrollo de los experimentos de investigación se utilizará la tecnología aditiva de FDM, puesto que dicha tecnología es a la que se nos facilita en mayor forma tener acceso, además el material de aporte (PLA) es uno de los materiales con mayor comercialización en la industrial actual.

Las manufacturas convencionales se pueden reemplazar por la AM si se desea cumplir alguna de las siguientes características o la combinación de estas mismas:

personalización del producto

complejidad geométrica

serie corta (producto que no necesita más de miles)

2.5.3 Materiales de impresión.

En la actualidad casi todos tipos de materiales se pueden imprimir por medio de la AM, por eso uno de los factores que influye en la agrupación y caracterización de los sistemas de manufactura aditiva son los materiales, debido a que no todos los materiales pueden ser trabajados por todos los tipos de tecnologías utilizadas. Para cada una de las configuraciones posibles de los equipos se debe identificar los posibles materiales que no presenten problemas a la hora de desarrollar la impresión con sus respectivos equipos.

Para la tecnología de material por fundición de impresión en 3D, los materiales más empleados son:

PLA: (Polylactic acid, ácido poliláctico) “El ácido poliláctico es un polímero biodegradable derivado del ácido láctico. Es un material altamente versátil, que se hace a partir de recursos renovables al 100%, como son: el maíz, la remolacha, el trigo y otros productos ricos en almidón. Este ácido tiene muchas características equivalentes e incluso mejores que muchos plásticos derivados del petróleo, lo que hace que sea eficaz para una gran variedad de usos (Escuela de Ingenierías Industriales, 2014) este material es el segundo más utilizado en la impresión en 3D ya que requiere una temperatura de fundición (170°C y 210°C), no requiere de una capa precalentada, se enfría lentamente, es muy ligero y tiene buena dureza.

ABS: (Acrylonitrile butadiene styrene, acrilonitrilo-butadieno-estireno) El ABS es un termoplástico amorfo derivado del petróleo, que, sometido a la exposición de temperaturas altas, se vuelve deformable o flexible llegando incluso a derretirse, mientras que cuando se enfría lo suficiente, se endurece. Su temperatura de fundición se encuentra a partir de los 210°C hasta los 250°C mucho más alta que la del PLA, y necesita un capa precalentada de un aproximado de 100°C para evitar que el elemento en desarrollo se deforme, este material depende de algunas condiciones específicas para mantener sus forma o propiedades, esto se da, debido a que absorbe muy fácilmente la humedad y se deteriora rápidamente en contacto con la luz solar, pero tiene una muy buena resistencia al impacto mucho mayor que la del PLA.

PVA:(Polycarbonate, policarbonato) este material es demasiado fácil de termoformar y trabajar y los elementos desarrollados con este material son duros, pero no rígidos y puede soportar temperaturas altas mayores que las que puedes soportar ABS y PLA. La temperatura de extrusión está entre 270°C y 310°C y tiene que tener una cama precalentada con valores aproximados de 110°C, además el enfriamiento de la pieza tiene que ser gradual para evitar deformación o encogimiento de la pieza.

PVA:(Polyvinyl alcohol, alcohol polivinílico) El PVA es un polímero sintético fuerte, soluble en agua. Al ser disuelto en agua, hace que el PVA tengas tantas aplicaciones comerciales, por esto solo basta con sumergir el material en agua para que el material se disuelva por unas 24 horas el material es biodegradable, el agua caliente ayuda a disminuir este tiempo de solubilidad. La temperatura de extrusión se encuentra entre 190°C y 210°C. Este material es muy costoso y para almacenarlo se tiene que despejar factores de humedad para evitar desgaste esto son complicaciones que se presenta a la hora de utilizar este material.

2.5.4 Aplicaciones de interés en la impresión 3D.

Como se observó antes, la tecnología aditiva tiene aplicaciones en todo tipo de industrias, se fortalece en algunas áreas mucho más que en otras, y existen varios campos en los que la impresión 3D se está implementando y a la vez evolucionando, reemplazando los tipos de manufactura convencionales. En esta tecnología se puede crear varios tipos de formas, sin necesidad de herramientas tradicionales y se puede implementar fácilmente en los lugares de fabricación industrial. Las empresas de altas tecnologías pueden desarrollar varios análisis de su producto frente a factores de calidad, materiales, o de tiempos de producción, y así detectar las aplicaciones en las que la fabricación aditiva podría ser más ventajosa.

Esta manufactura no solo tiene varios campos de desarrollo, sino que su constante evolución la lleva a ser nombrada como base principal de la cuarta revolución industrial, es así que si se fracciona la evolución de esta tecnología en sus campos de aplicación se lograría alcanzar este objetivo revolucionario.

2.5.4.1 *Fabricación aditiva en el sector médico.*

Esta área de desarrollo es la más estudiada en la actualidad debido a que existe varios modelos creados por bioimpresión, Organovo es una empresa creadora de la primera bioimpresora comercial, estos se encuentran innovando y creando nuevos productos, así como diferentes universidades y empresas que tienen modelos de máquinas para cumplir con esta nueva tendencia.

Otros desarrollos en la parte médica son las prótesis, ortesis e implantes desarrolladas por medio de AM, además han comenzado la creación de órganos órganos impresos en 3D con escaneo del cuerpo del individuo y de esta manera la posibilidad de que las operaciones sean más exitosas es más alta.

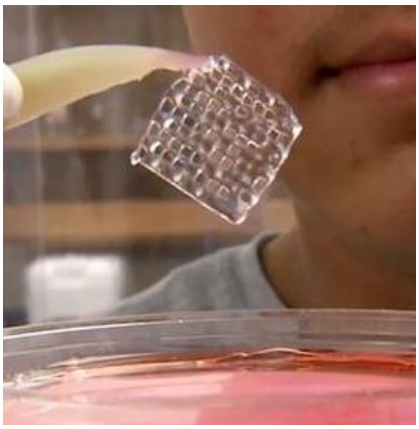


imagen 6. Imagen de tejido bio-impreso (C., 2019)

2.5.4.2 *Fabricación aditiva en los transportes.*

En este caso lo que se busca es economizar tiempo, costos y peso para obtener un ahorro notable de combustible. Esta importancia es relevante ya que el aumento de 1 kg de material en el espacio cuesta alrededor de $ 150.000.

Automoción:

Para este campo la rapidez y la agilidad de fabricación de los prototipos es una ventaja competitiva crucial. Las piezas metálicas funcionales pueden producirse rápidamente para probar su rendimiento. En el sector de motores, la AM de metales se utiliza para crear los conductos de refrigeración.

Aeroespacial:

Este campo de acción debe tener varios estudios previos para el desarrollo de un elemento que soporte presiones elevadas y temperaturas inestables, algunos elementos que se desarrollan con este tipo de manufactura son como álabes de turbinas, sistemas de inyección de combustible y aspas.

La optimización topológica de las piezas puede mejorar la funcionalidad, esto se da porque unas piezas más ligeras contribuyen a reducir el peso de la aeronave y, por consiguiente, el consumo de combustible.

Marino:

En el ámbito del sector marino, se usa para fabricar prototipos, piezas de repuesto e incluso en arquitectura naval, para exhibir modelos promocionales. También, para la fabricación de algunos prototipos de busque marina con materiales que soporten la presión y no se vean afectados por el agua.

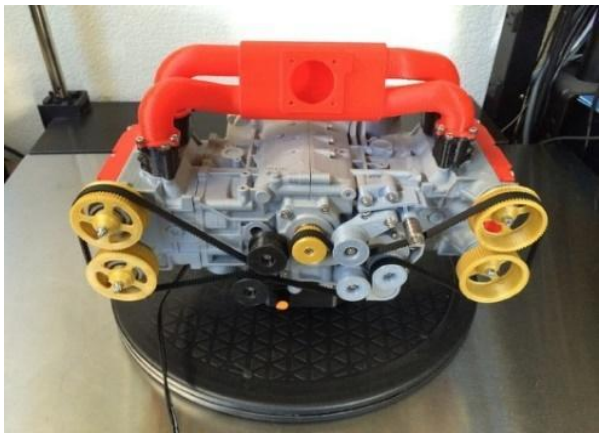


imagen 7. Maqueta a escala de motor desarrollada por la marca Toyota por impresión en 3D (Martin, 2016)

2.5.4.3 *Fabricación aditiva en la arquitectura.*

Esta fabricación tiene su implementación desde el año 2006 buscando generar modelos con gran precisión y detalles, a escala, y también para elementos de desarrollo de la fabricación de estructuras o posible vivienda, es ejemplo de esto que, en el año 2017, la empresa rusa Apis Cor presentó su primera casa impresa en 3D en tan sólo 24 horas, Una hazaña en el sector de la arquitectura, realizada por un brazo desmontable capaz de extruir hormigón.



imagen 8. Casa impresa por la compañía Apis Cor (Impresoras3D.com, 2018)

2.5.5 Diseño CAD.

(Gómez Reyes, 2017) afirma que:

Los programas de diseño por computadora que generan los modelos se les conoce como sistema de diseño asistido por computadora (CAD) y los equipos que reciben dichos programas para controlar las tareas de fabricación se les llama

sistema de fabricación asistido por computadora (CAM). Estas tecnologías combinadas (CAD/CAM) conforman la impresora 3D Máquina de impresión en 3D (P .50).

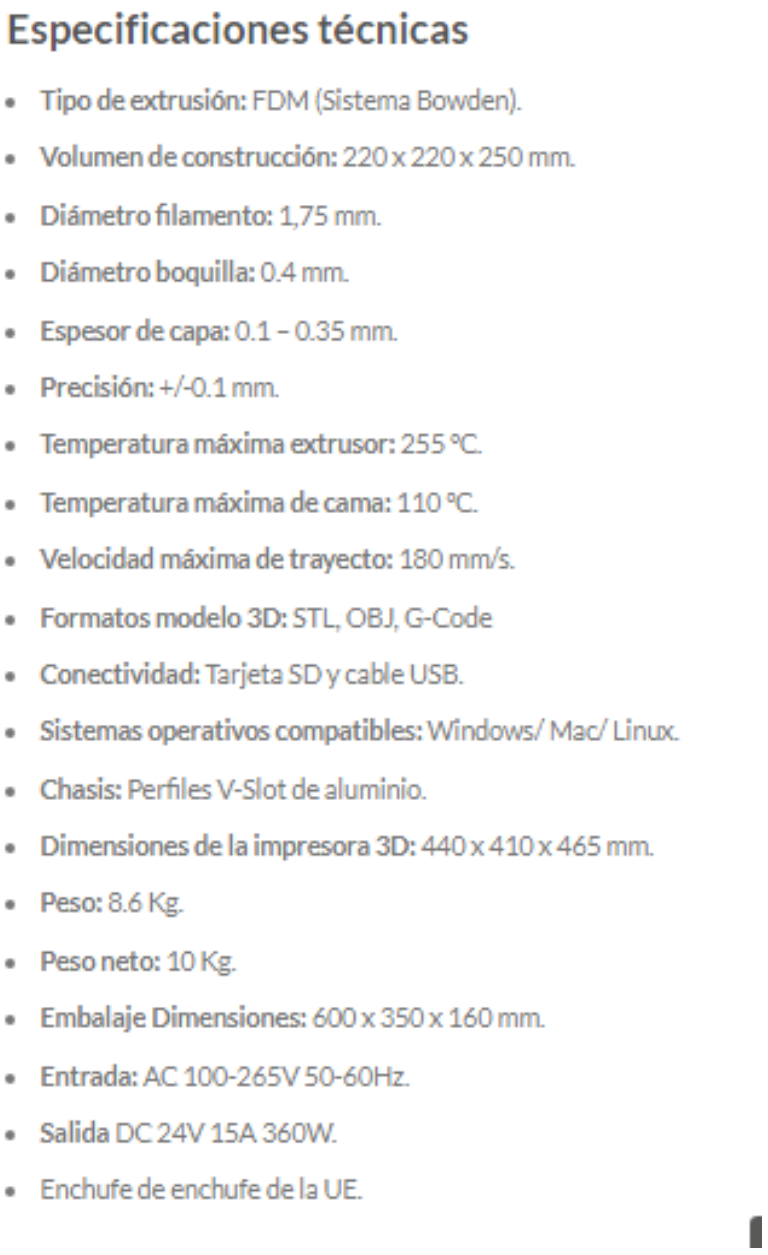
2.5.6 Creality Ender 3.

Este modelo de impresora 3D Open Source, permite imprimir de forma asequible numerosos tipos de filamento: PLA, ABS, PETG, flexible, entre otros en un volumen de impresión por encima del estándar. Tiene un diseño innovador, y sobre todo es muy fácil de manipular para realizar cualquier cambio de pieza o mejora, o simplemente para trabajar con ella (C., 2019)



imagen 9. Imagen de la impresora Creality Ender 3. (C., 2019)

Ficha técnica de la impresora Creality Ender 3.



Especificaciones técnicas

- **Tipo de extrusión:** FDM (Sistema Bowden).
- **Volumen de construcción:** 220 x 220 x 250 mm.
- **Diámetro filamento:** 1,75 mm.
- **Diámetro boquilla:** 0.4 mm.
- **Espesor de capa:** 0.1 – 0.35 mm.
- **Precisión:** +/-0.1 mm.
- **Temperatura máxima extrusor:** 255 °C.
- **Temperatura máxima de cama:** 110 °C.
- **Velocidad máxima de trayecto:** 180 mm/s.
- **Formatos modelo 3D:** STL, OBJ, G-Code
- **Conectividad:** Tarjeta SD y cable USB.
- **Sistemas operativos compatibles:** Windows/ Mac/ Linux.
- **Chasis:** Perfiles V-Slot de aluminio.
- **Dimensiones de la impresora 3D:** 440 x 410 x 465 mm.
- **Peso:** 8.6 Kg.
- **Peso neto:** 10 Kg.
- **Embalaje Dimensiones:** 600 x 350 x 160 mm.
- **Entrada:** AC 100-265V 50-60Hz.
- **Salida** DC 24V 15A 360W.
- Enchufe de enchufe de la UE.

imagen 10. Ficha Técnica impresora Creality Ender 3 (C., 2019)

2.5.6.1 *Características de impresora Creality Ender 3.*

Impresora 3D Open source (permite cualquier tipo de modificación)

Filamentos de terceros.

Materiales: PLA, ABS, PETG, Flexible 95A, composites, etc.

Volumen de impresión por encima del estándar.

Económica.

Fácil nivelación.

Extrusor optimizado.

Suministro de energía de alta calidad y segura.

Dispone de cama caliente.

Información adicional de la impresora Creality Ender 3.

PESO	10 kg
DIMENSIONES	60 × 35 × 16 cm
BOQUILLAS DIAMETRO	1,75 mm
BOQUILLAS TAMAÑO	0,4 mm
IMPRESORA MARCA	Creality
PRECIO IMPRESORA	Hasta 500 €
TECNOLOGIA IMPRESORA	Deposición de plástico (FDM)
TIPO DE EXTRUSIÓN	bowden
VOLUMEN DE IMPRESIÓN	> 20cm x 20cm

imagen 11.Ficha de información adicional de la impresora Creality Ender 3 (C., 2019)

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1 Formulación del problema

En esta etapa se definió el problema de diseño robusto desarrollado, estableciendo factores como especificaciones del producto, características del producto, características de calidad, objetivos y funcionalidad de lo fabricado (valor objetivo), en búsqueda de las propiedades que más impactan la dimensionalidad de los productos desarrollados por la manufactura aditiva, analizando la capacidad de proceso de las impresoras en 3D para poder obtener una mejor calidad de impresión, esto acoplado a la maquina Ender 3 donde se realizaron varias impresiones, en las cuales se tomaron algunas medidas específicas para identificar su exactitud y precisión.

3.1.1 Selección de técnica de manufactura aditiva.

El desarrollo de este estudio se realizó con la selección de una técnica de manufactura aditiva específica que sea de fácil acceso y económica para desarrollar el proyecto sin presentar inconvenientes que puedan afectar el desarrollo de este mismo.

3.1.2 Selección de material.

La selección del material adecuado debe estar acompañada del tipo de manufactura aditiva que se esté realizando ya que no todas las AM pueden imprimir cualquier tipo de materiales, además se tendrá en cuenta que algunos materiales pueden variar su forma después de un proceso posmanufactura aditiva, que pueden afectar las dimensiones del producto final.

3.1.3 Selección de geometría.

La selección de geometría se basa en la finalidad de encontrar un diseño que nos facilite la aplicación del estudio dimensional para varias piezas impresas en 3D.

3.1.4 Creación de diseño en software.

Este diseño se creará por medio de un software de modelado CAD/CAM en el cual se especificará la forma requerida en la impresión, teniendo como objetivo realizar una función elemental en algún sistema.

3.2 Planeación de proceso

Se realizó la experimentación con la interacción y variación de ruidos del proceso.

3.2.1 Numero impresiones.

Se identificó un número de impresiones adecuadas para poder obtener la mayor cantidad de interacción de las posibles variables del sistema que puedan alterar la calidad o el estado del producto deseado con base a las variables de ruido y el método experimental propuesto.

3.2.2 Recolección de datos.

Se realizó la toma de medidas, estas medidas se hicieron por medio de calibradores digitales, para las geometrías que componen los elementos impresos, esta selección está dada por la resolución y exactitud que se puede alcanzar con este instrumento, para poder mantener constantes variables de entorno como la humedad, la luminosidad, la temperatura. De esta manera obtenemos una reproducibilidad y así repetir el experimento bajo las mismas condiciones y sin obtener desviaciones amplias en los mismos resultados.

3.3 Análisis de resultados

Al obtener los resultados se realiza el análisis de los datos determinando las consecuencias notorias en los elementos fabricados y de esta manera se pueden predecir la combinación más óptima de las variables del sistema, además para esta etapa se debe estimar la incertidumbre presente en el proceso y “determinar la importancia relativa de factores varios usando el método de descomposición de la varianza llamado (ANOVA) (Taguchi, 2001)

Se utiliza la implementación del método Taguchi para poder disminuir las variables de importancia en nuestro análisis. Para los análisis se tendrán en cuenta las variables alteradas en el experimento y de esta manera observar cual es el error obtenido en las impresiones, y como se ven afectadas las tolerancias dimensionales del elemento.

3.4 Verificación de cumplimiento del proceso

En esta etapa se lleva la confirmación experimental, el objetivo es verificar que las condiciones óptimas por la matriz ortogonal sean las que nos rinde el mejor resultado de interacción de las variables, las características de desempeño del diseño y se obtener así la mejor manera de controlar los ruidos.

“La técnica de Diseños Experimentales de Taguchi, permitió reducir el número de corridas experimentales en un 84% en relación a un diseño factorial completo. Por lo tanto, el tiempo y costo de la experimentación se redujo en la misma proporción” (Bernal Galván, Vázquez, & Rodolfo, 2001)

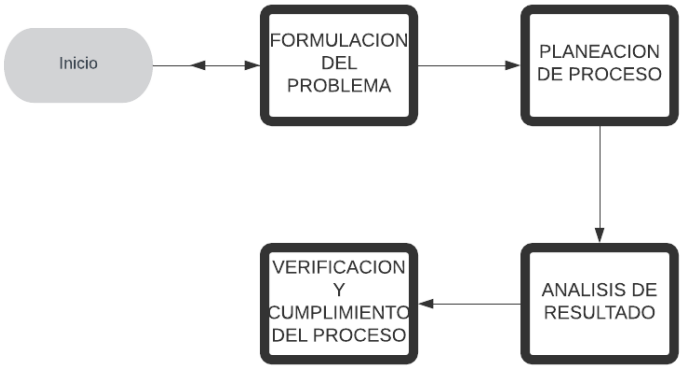


figura 3. Diagrama de desarrollo del diseño de experimentos.

3.5 Descripción del proceso

El problema radica en que debido a la complejidad del proceso existe un número alto de factores influyentes que dificultan la estandarización de las operaciones y exigen un proceso experimental que puede resultar costoso. Asimismo, investigaciones previas demostraron que las interacciones entre los factores principales son débiles, pero existen factores que predominan frente a los demás y pueden cambiar los resultados requeridos en la experimentación.

3.5.1 FDM manufactura aditiva.

Para este proceso se optó por un proceso de manufactura basado en FDM (fused deposition modeling) debido a que esta es la tecnología de impresión en 3D más extendida y utilizada en la industria de producción.

El principio del funcionamiento se basa en que un extrusor que empuja un filamento compuesto por tecno plásticos, a través de un hot-end que está calentando a las temperatura de fusión del material a extruir, en el hot-end el filamento se funde y sale por una boquilla generado un hilo de material que se va depositando en una cama o bandeja de impresión, esta tecnología tiene una precisión limitada frente a otras tecnologías de fabricación y permite la creación de elementos muy duraderos y resistentes aunque en muchos casos presentan menor resistencia eje X, lo que se debe tener en cuenta en el diseño u orientación de la pieza.

La arquitectura con la cual se desarrollará el proceso es la cartesiana, esto se da porque este sistema tiene facilidad de identificación de problemas y son los más avanzados frente aspectos de calibración.

3.5.2 PLA.

El material que se utilizará para las impresiones en 3D por medio de la FDM es el PLA ya que es un material con propiedades mecánicas adecuadas para impresiones con funcionalidades de soportes bajos, además, es el material más utilizado en la industria 3D.

Otras características de selección fueron su biodegradabilidad y que no emite vapores tóxicos a la hora de imprimir, lo cual ayuda para realizar procesos de impresión práctico, económico y saludables para el medio ambiente.

3.5.3 Selección de geometría adecuada.

En esta parte del proceso se identificó la geometría adecuada del elemento con el que se podría realizar el análisis dimensional necesario para dicho estudio.

La selección de la figura está relacionada hacia un elemento que tenga diferentes geometrías, teniendo en cuenta que las formas no sean tan complejas, y así se facilite la obtención de medidas con un menor margen de incertidumbre, este margen se puede alcanzar debido a factores de manipulación del operario, entorno o instrumentación.

El modelo es una figura vista constantemente en centros gubernamentales, y normalmente los procesos de fabricación utilizados para dicho elemento son por medio de la manufactura convencional, el nombre adecuado del elemento mecánico es soporte para asta,

Otro factor de selección es el volumen a escala de desarrollo del elemento el cual es aproximado a 80000 mm^3, debido a este volumen es un elemento mucho más fácil de manipular para las tomas de valores dimensionales y mejorar la resolución del operador, es por eso que se determina una escala de 1:3 para una mejor manipulación del elemento con respecto a las etapas de proceso.

3.5.3.1 *Descripción del elemento.*

El modelo es una estructura con vacíos que cumplen diferentes funciones, por ello este elemento llega a tener algunos agujeros que ayudarán a sujetar el soporte hacia alguna otra estructura, además tiene dos refuerzos que ayudan a mantener una mayor estabilidad, dicha estabilidad está asociada a la función principal, la cual es soportar un elemento mecánico cilíndrico con diámetro exterior de 60 mm.

3.5.4 Creación de diseño en software para la impresión 3D.

Para cada una de las impresiones, las medidas se obtienen con variaciones de posiciones de la impresión del elemento, de esta manera la toma de estos valores ayudará a identificar la manera más precisa de utilizar la impresora con base a la similitud de las dimensiones en el modelo CAD, alcanzando las dimensiones adecuadas. Para ello se creó un modelo de CAD por medio del software de Solid Edge 2019, este modelado está constituido por varias figuras rectangulares y circulares, con el fin de obtener valores de medición en geometrías planas, circulares o inclinadas.

El modelado en CAD se da por medio del software Solid Edge 2019.

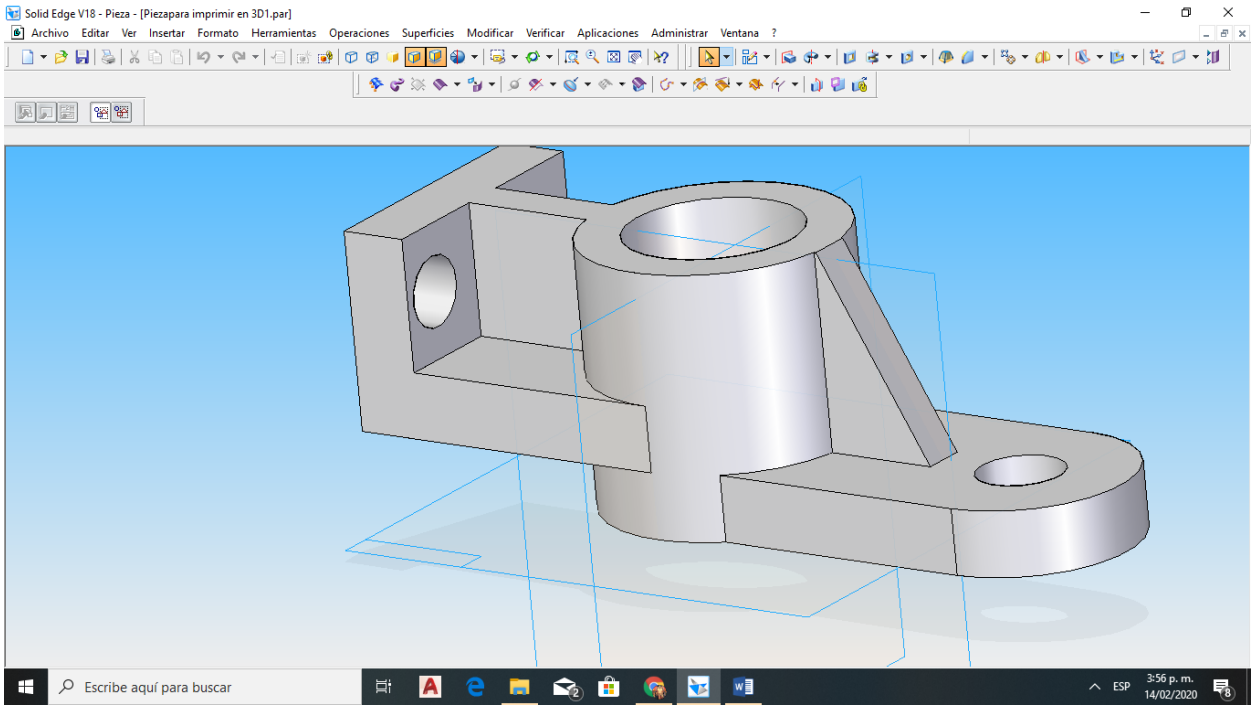


imagen 12. Modelado soporte para asta modelado en Solid Edge.

Al tener el CAD modelado por Solid Edge se pasó a formato de STL para el desarrollo del proceso de manufactura aditiva por medio de la impresora Ender 3.

Después de tener el STL en el software de cura ultimaker, se procedió a el traspaso de información al equipo de AM (ender 3) esto se puede dar de dos formas diferentes, una de estas maneras es la conexión directa por medio de un cable USB, así el software identificará que se encuentra la impresora conectada y se podrá enviar las propiedades de impresión hacia la máquina. La segunda

opción es por medio de una tarjeta SD, en la cual se guardarán las configuraciones de propiedades deseadas para cada una de sus respectivas impresiones.

Para el desarrollo de proceso se utilizó la tarjeta SD, esta tarjeta se inserta en la impresora identificando por medio de la pantalla de display que archivo se desea imprimir, se decide este modelo de traspaso de información debido que la conexión es práctica, eliminando inconvenientes para que la máquina pueda trabajar de manera autónoma, poder prescindir del ordenador mientras se va realizando la fabricación del prototipo y evitar la dependencia del información, ya que si el sistema necesita una actualización es posible que afecte el flujo de información a la impresora y alterar la calidad del producto.

3.6 Planeación de proceso impresión 3D del modelo

Para esta parte del diseño se optó por la identificación de la matriz del experimento, para el caso del método Taguchi, el cual está basados en arreglos ortogonales y se hicieron populares por el ingeniero Genichi Taguchi. Normalmente se identifican con un nombre como L8, que indica un arreglo con 8 corridas. Los diseños experimentales clásicos también están basados en arreglos ortogonales, pero se identifican con un exponente para indicar el número de variables, estos arreglos colaboran mejorando la facilidad de análisis de datos y detecta la salida de modelos activos.

3.6.1 Parámetros de ruido.

Respecto a la influencia de parámetros de procesos en manufactura aditiva, se debe tener en cuenta cuales son los parámetros más significativos que pueden alterar los resultados dimensionales del producto final.

3.6.1.1 *Software.*

El software al cual se importó el modelo de CAD en Solid Edge es CURA, la cual maneja una interfaz muy básica y fácil de comprender, además en una interfaz libre la cual facilita el acceso del software.

El software cuenta con varias ventanas de información, en estas ventanas se identificó las características, configuraciones y variables de desarrollo en la impresión 3D.

3.6.1.2 *Características de desarrollo CURA.*

Lo primero que se realizó fue la carga del archivo de Solid Edge al formato STL, cuando el archivo se encuentra completamente cargado, en la primera ventana

(CONFIGURACIÓN DE IMPRESIÓN) se identificaron factores de posibles variaciones para las propiedades de impresión que presenta la máquina, en la siguiente imagen se puede observar estas propiedades.

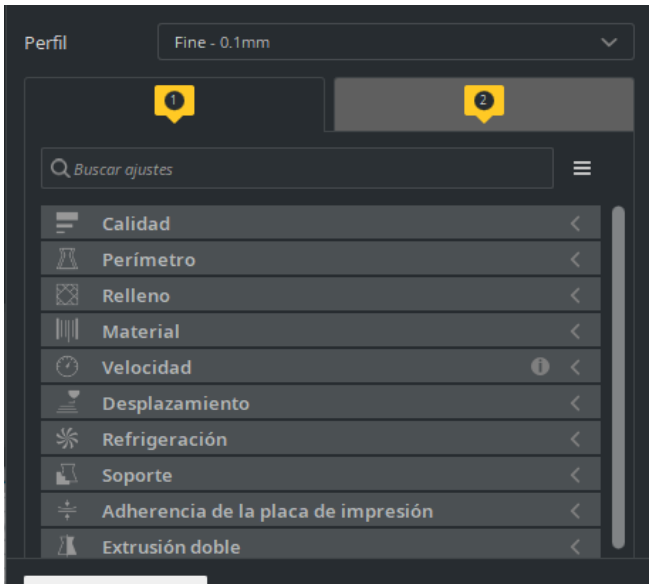


imagen 13. Propiedades de impresión en 3D, ventana. (CONFIGURACION DE IMPRESION) CURA.

3.6.1.3 *Propiedades de impresión.*

Teniendo en cuenta que el proceso presenta varias condiciones estacionarias como que solo se imprimirá un objeto por configuración o que las unidades de medida son en milímetros y que la impresión no tiene escala, se puede identificar las posibles variaciones de interacción, estas variaciones de impresión pueden afectar la calidad de producto, algunas de ellas son la resolución de capa, interior de modelado, relleno de soporte.

Cada una de las posibles variaciones de propiedades corresponde a una característica especial de la impresión, es así que se describirá con precisión cada propiedad de esta ventana:

Resolución o altura de capa: la capacidad de la máquina para imprimir filamentos a una distancia determinada los unos de los otros.

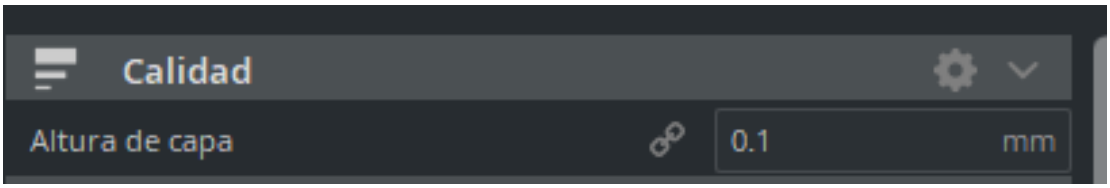


imagen 14. Propiedades de calidad, ventana. (CONFIGURACION DE IMPRESION) CURA.

Esta propiedad depende del tamaño del diámetro de la boquilla de extrusión, se recomienda que no exceda el 80% del tamaño de la boquilla, ya que puede presentar taponamiento de material lo cual afectaría la calidad de la impresión.

Como el tamaño de la boquilla de la máquina es de 0.25 mm, se opta por definir una altura de capa máxima de 0.2 mm.

Relleno: (interior de modelado) corresponde a la densidad de los filamentos de la pieza, está relacionada con el enmallado generado dentro de la superficie del elemento a imprimir.

Esta densidad varía porcentualmente entre 10% hasta 100% para observar la variación se realizará impresiones con un relleno de 20%, 40% y 60%.



imagen 15. Propiedades de densidad de relleno, ventana. (CONFIGURACION DE IMPRESION) CURA.

Al realizar cambios en esta propiedad se alteran variables como:

Capas superiores

Capas inferiores

Distancia de línea de relleno

Superposición del relleno

Espesor de soporte de los bordes

El Patrón de relleno se encarga de definir las figuras que se utilizaran, para realizar el rellenar del elemento fabricado.

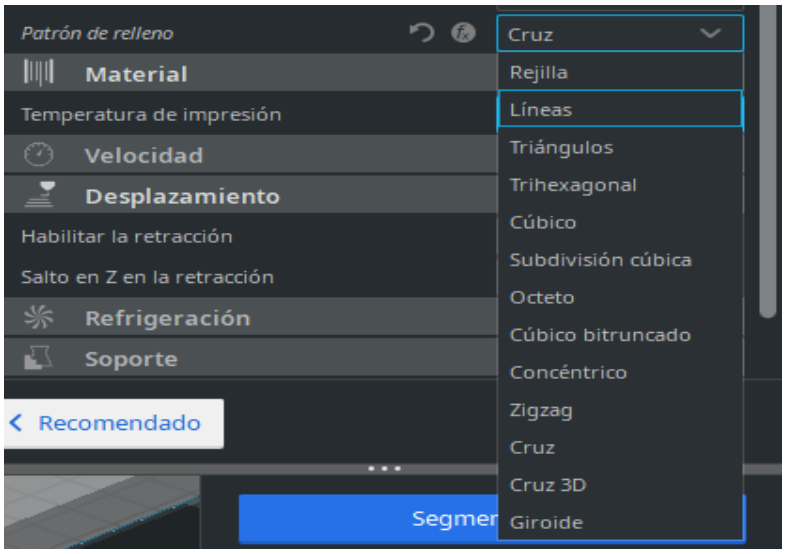


imagen 16. Propiedades de patrón de relleno ventana. (CONFIGURACION DE IMPRESION) CURA

Es así que el relleno de línea zigzag y triángulo cambia de dirección en capas alternas, con lo que se puede reducir el costo del material a fabricar, los patrones de rejillas, trihexagono, cubo, octeto, cubo bitruncado, rejilla, transversal y concéntrico se imprimen en todas las capas por completo. El relleno giroide, cubico, cubico bitruncado y de octeo, cambian en cada capa para proporcionar una distribución de fuerza equitativa en cada dirección.

Es así que para realizar las impresiones se identificarán patrones de rejilla, triángulo y cúbico con los respectivos porcentajes de densidad.

Este patrón incide en aspectos como:

Distancia de línea de relleno

Conectar líneas de relleno

Porcentaje de superposición del relleno

Superposición del relleno

Velocidades de impresión: esta propiedad está relacionada con velocidad de paso del material por el extrusor, se debe tener en cuenta que a mayor velocidad los acabados pueden presentar mayores imperfecciones, esta velocidad afecta directamente las velocidades de:

Velocidad de relleno

Velocidad de pared

Velocidad superior/inferior

Velocidad de desplazamiento de capas

Resolución de desplazamiento máximo

Dependiendo de esta variable se seleccionarán 3 velocidades posibles, no tan altas (40 50 70) mm/s y observar cómo pueden alterar los acabados y dimensiones del elemento.

En la siguiente tabla se observa las posibles variables de interacción por propiedad

Tabla 1

NIVEL	ALTURA DE CAPA	RELLENO (%)	VELOCIDAD DE IMPRESION (mm/s)
1	0.12	20 % rejilla	40
2	0.15	40% triángulo	50
3	0.2	60% cubico	70

Tabla 1.Propiedades de impresión en 3D, ventana (CONFIGURACIÓN DE IMPRESIÓN), CURA.

Autoría Propia.

De manera inmediata se determinó que para la segunda ventana (ORIENTACIÓN) se pueden observar las diferentes maneras de cómo se puede ir orientando el elemento a imprimir, dependiendo del eje cartesiano y un ángulo de inclinación posible, es aquí donde se encuentra una variabilidad extensa, estas variabilidades se observa en la siguiente imagen.

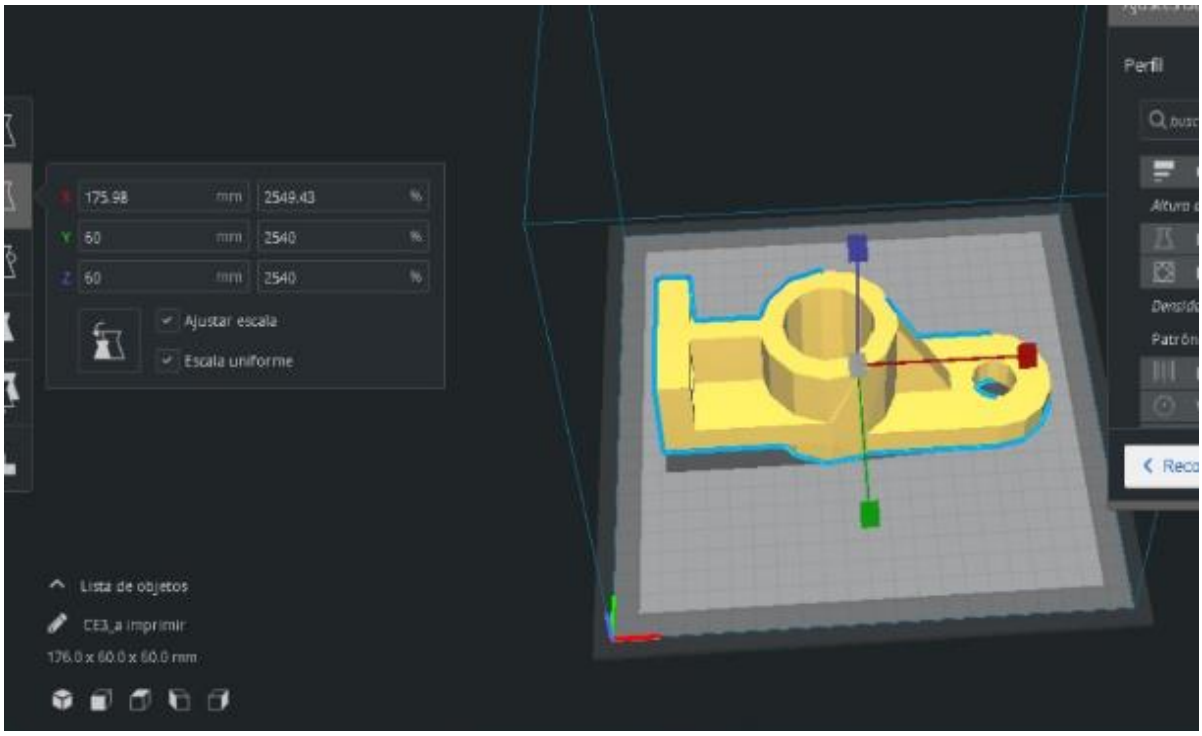


imagen 17. Propiedades de posición en 3D, ventana. (ORIENTACÓN), CURA.

En este modelo de orientación se puedo seleccionar una superficie guía la cual estará definida para generar los movimientos de orientación posible, además, se puede dar grados de giros para mejorar la rapidez de impresión y también disminuir o aumentar el material necesario de impresión, de esta manera existen diferentes posibilidades para comenzar la impresión.

3.6.2 Ruidos de proceso.

Teniendo en cuenta las propiedades de impresión posibles en la creación del elemento, se definió las cantidades de piezas a imprimir, de esta manera se identificaron algunos factores que se deben tener en cuenta a la hora de impulsar la manufactura aditiva sobre los demás tipos de manufactura convencionales, estos factores también ayudan a simplificar el estudio elegido, teniendo un número menor de elementos posibles a imprimir, ya que debido a propiedades de posicionamiento y orientación las posibilidades de impresión son infinitas, es así que el factor que se puede tratar de establecer como discreto, es en el material de soporte y el material de impresión.

3.6.2.1 *Material de soporte.*

El material de soporte permite imprimir modelados que pueden ser imposibles en los procesos de manufactura convencionales, es el caso de objetos con voladizos, además puede colaborar a la homogeneización de vacíos o cavidades en la impresión, de esta manera se brinda una libertad de diseño casi infinita.

Debido a que se pueden presentar posibles afectaciones en la impresión del material de soporte como la carburización de las boquillas y en el tiempo de impresión, el cual debe ser lo más corto posible para mejorar eficiencia, se trató de neutralizar estas complicaciones por medio de diseños que tengan la menor cantidad de material de soporte posible, ahorrando tiempos al imprimir y tiempos en los procesos posteriores de acabados superficiales. El material que se utilizó como soporte es el mismo PLA que es el mismo material de desarrollo del producto final.

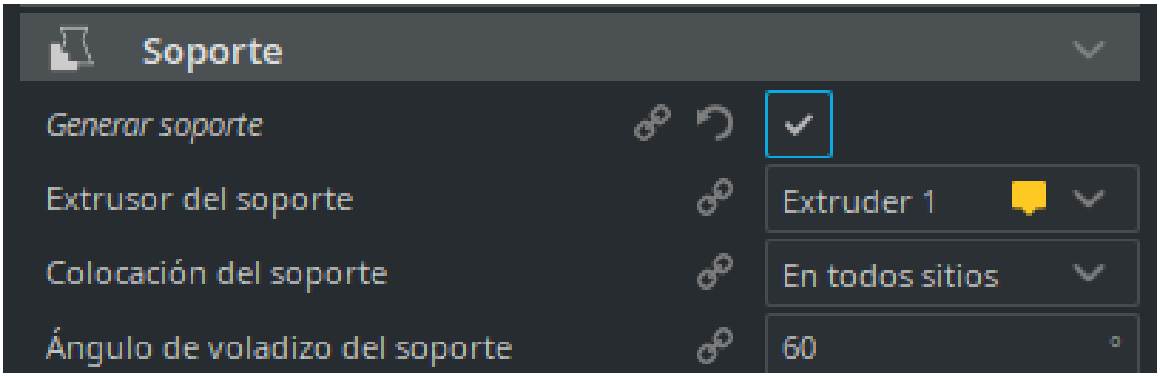


imagen 18. Propiedades de soporte, ventana. (CONFIGURACIÓN DE IMPRESIÓN) CURA.

3.6.2.2 *Posicionamiento y orientación del elemento.*

Se seleccionó la 3 posición más adecuada para colocar las caras del elemento que tiene mayor área con respecto a la bandeja de la impresora, con el objetivo de evitar la utilización de la mayor cantidad de material de soporte. Por eso la base del elemento, el costado izquierdo y la parte trasera se fijaron como las caras guías que van a estar intercambiando en las impresiones del PLA.

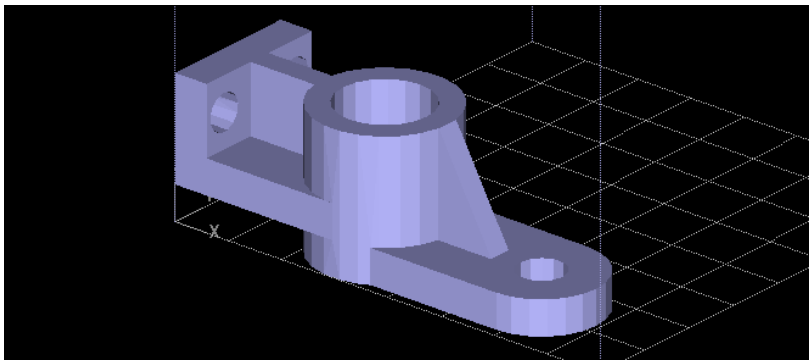


imagen 19. Posicionamiento del elemento en CURA.

3.6.2.3 *Relleno de soporte.*

Debido a los efectos gravitacionales o de esfuerzo que se pueden presentar en modelos complejos, se optó porque en la propiedad de relleno de soporte, la máquina varié con diferentes porcentajes de manera creciente, para así analizar el comportamiento de esta propiedad en la calidad dimensional de los elementos.

3.6.2.4 *Temperatura de impresión.*

Esta propiedad está asociada con el tipo de material que se imprime y normalmente se encuentra especificada por el fabricante de material, para este caso para el material PLA se exige una temperatura de impresión entre 190 c y 220 c, por ello las impresiones se realizan a una temperatura de 210 C.

3.6.2.5 *Refrigeración.*

La refrigeración de las piezas impresas se realiza a temperatura ambiente, con un tiempo de 10 minutos.

3.6.2.6 *aderencia de la pieza a la bandejas.*

Debido a que la bandeja de impresión es de vidrio se utilizo como material de aderencia cianoacrilato o mejor conocido como superglue el cual es un pegamento extrafuerte y instantáneo

3.7 Cantidad de piezas a imprimir

Para tener claro la cantidad de impresiones que se llevarán a cabo, se identificaron las posibles variaciones de las propiedades de impresión.

Teniendo en cuenta que se fijó las caras con mayor área superficial hacia la bandeja, se plantean estas 3 posiciones de impresión.

Tabla 2

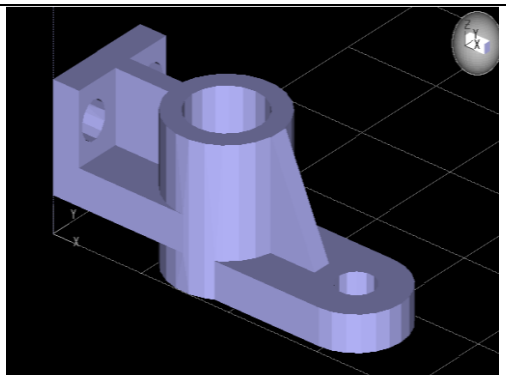
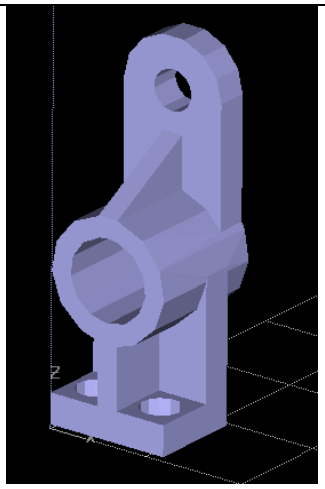
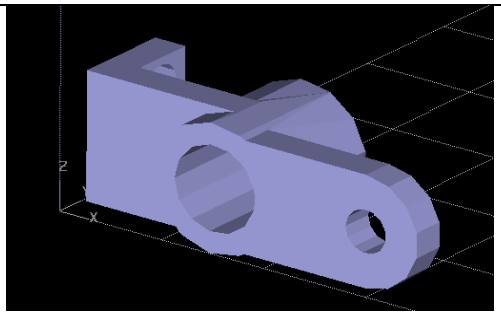
 Posición 1
 Posición 2
 Posición 3

Tabla 2. Posibles orientaciones del elemento de impresión (ORIENTACIÓN), CURA.

Autoría Propia

3.8 Factores de estudio

Es así que, basándonos en una investigación bibliográfica y asesoría de expertos, se determinó que los factores que debían ser tomados en cuenta para el estudio son:

- A: Resolución o altura de capa
- B: Relleno (%), patrón de relleno
- E: Velocidad de impresión (mm/s)
- D: Posición

En la tabla 4 se da la posible variación de interacción de propiedades de impresión

Tabla 3

NIVEL	ALTURA DE CAPA	RELLENO (%)	VELOCIDAD DE IMPRESION (mm/s)	POSICION
1	0.12	20 % rejilla	40	1
2	0.15	40% triángulo	50	2
3	0.2	60% cubico	70	3

Tabla 3. Variaciones en los factores de impresión.

Autoría Propia.

4. EJECUCIÓN

4.1 METODOLOGÍA TAGUCHI

El método Taguchi fue creado por Genichi Taguchi, quien define la calidad en términos de las pérdidas generadas por el producto por la sociedad, está perdida puede ser estimada desde el momento en que un producto es despachado hasta el final de su vida útil, este método es descrito como la herramienta más poderosa para lograr el mejoramiento de calidad, la filosofía de Taguchi está asociada a toda la función de producción, desde el diseño hasta la obtención final del producto.

Los problemas deben eliminarse en el laboratorio de diseño, no en la fábrica o en el campo. Según esta perspectiva, es necesario diseñar productos robustos que toleren variaciones en el proceso de producción y durante el servicio de mantenimiento. Los métodos estadísticos deben seleccionar los factores importantes que afectan el diseño.

4.1.1 Matriz experimental.

Esta parte del diseño se planteó por medio de la identificación de la matriz del experimento, para el caso del método Taguchi “están basados en arreglos ortogonales y se hicieron populares por el ingeniero Genichi Taguchi. Normalmente se identifican con un nombre como L8, que indica un arreglo con 8 corridas. Los diseños experimentales clásicos también están basados en arreglos ortogonales, pero se identifican con un exponente para indicar el número de variables” (Kavanaugh, 2002) estos arreglos colaboran mejorando la facilidad de análisis de datos y detecta la salida de modelos activos.

En el caso de la recolección de datos se debe realizar la experimentación con la interacción y variación de ruidos del proceso.

Las siguientes tablas muestran un diseño clásico 23, para estudiar los efectos de los factores A, B y C, y también las 3 interacciones de 2 factores y la única interacción de 3 factores. (Fig. 1) (Kavanaugh, 2002)

Tabla 4

Diseño clásico 2^3

	Factor			interacciones			
corrida	**A**	**B**	**C**	**AB**	**AC**	**BC**	**ABC**
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	1	1	-1	1	-1	-1	1
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1
No. Col. Taguchi	**4**	**2**	**1**	**6**	**5**	**3**	**7**

Tabla 4. Diseño clásico, estudio de factores con corridas (Kavanaugh, 2002)

"Un arreglo L8 de Taguchi, para investigar el efecto de 7 factores en 8 corridas mostrado en la tabla anterior. Sí se usarán gráficas lineales se seleccionarían las columnas 1,2 y 4 para identificar los efectos de los 3 factores y esto corresponde al mismo diseño clásico de la izquierda". (Fig. 2) (Kavanaugh, 2002)

Tabla 5

Arreglo Taguchi L_8

	Columna No.						
Corrida	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2
No. Columna clásica	***C***	***B***	***BC***	***A***	***AC***	***AB***	***ABC***

Tabla 5. Diseño Taguchi, estudio de factores con corridas (Kavanaugh, 2002)

"En el diseño clásico los niveles son (-1, +1); en el diseño de Taguchi, los niveles son (1, 2) - que significa, (bajo, alto) para cada factor." (Kavanaugh, 2002)

4.2 Obtención de datos

4.2.1 Metodología metrológica.

La obtención de los datos se elaboró por medio del paso de aseguramiento metrológico, algunos de estos pasos ya se han demostrado de manera precipitada a lo largo del informe, estos pasos son:

Determinar que se va a medir

Seleccionar el equipo o instrumento de medida

Estudio de RR

4.3 Sectores de medición

Los datos que se utilizaron para el análisis dimensional se identificaron en las zonas con formas más destacadas del elemento impreso, es así que se tomaron tres medidas por impresión en seis sectores adecuados que ayudaron a facilitar el proceso de obtención de datos y también reduciendo los errores de medición que se pueden presentar en el proceso, la elección de los mesurando que se eligieron también está apoyando las apreciaciones que pueda tomar el operario, y a su vez se logra restringir la repetibilidad y reproducibilidad de las magnitudes previstas, para así poder obtener una mejor comparación con las dimensiones deseadas en el comienzo del proceso.

Los puntos clave en los que se tomaron las medidas con el calibrados se pueden observar a continuación, son seis mesurandos que se estudiaron, se tomaron tres medidas para cada mesurando, es así como por cada elemento tienen 27 medidas.

La selección de las secciones que se tomaron como medidas está asociada a factores de forma y amplitud dimensional, para la medida 1, 2, 3, 4 se utilizara un Calibrador Digital 6 Mitutoyo 500-196-30b y la medida 5 y 6 se tomaran por medio de un micrómetro Mitutoyo 293-100.

4.3.1 Medida 1.

Esta medida es para el diámetro interno más grande del elemento, y fue tomado en lugares aleatorios del perímetro de dicho agujero.

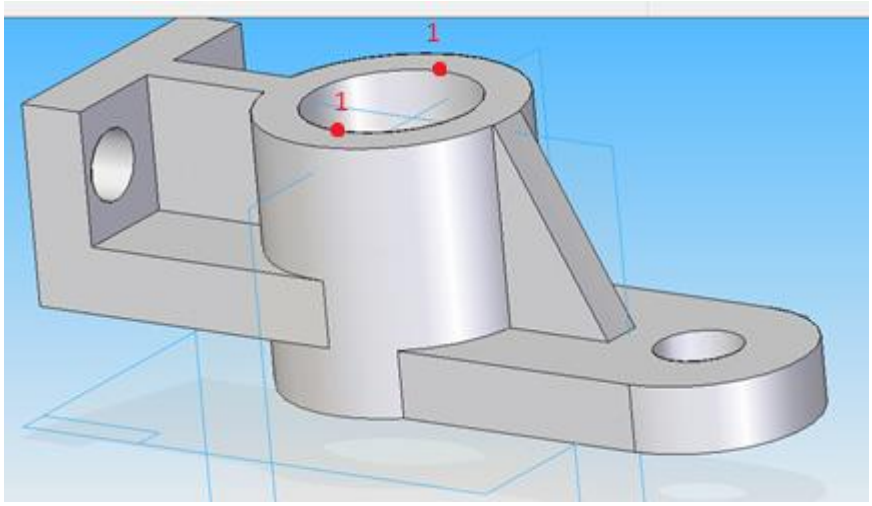


imagen 20. Puntos de medida 1, toma de medidas del diámetro interno.

4.3.2 Medida 2.

La toma de esta medida estuvo sobre el ancho del elemento como se observa a continuación, para identificar que tan amplia es la pieza con respecto al modelo original.

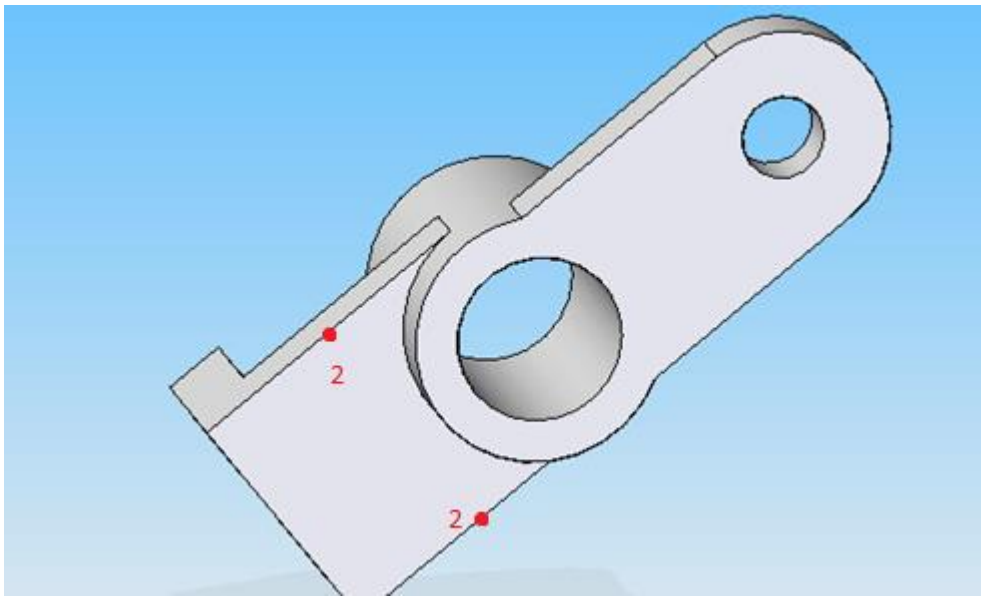


imagen 21. Puntos de medida 2, toma de medidas del ancho de la pieza.

4.3.3 Medida 3.

Las medidas 3 están asociadas con los agujeros traseros de sujeción de la pieza, estas medidas se tomaron en diferentes sectores del perímetro de cualquiera de los dos agujeros, como se identifica en la siguiente imagen.

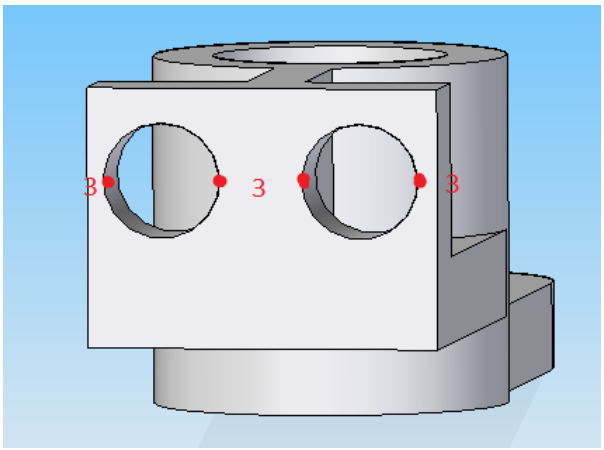


imagen 22. Puntos de medida 3, toma de medidas del ancho de la pieza.

4.3.4 Medida 4.

Para la última toma de datos con el calibrador, se decidió tomar una medida derivada que estará dada por los agujeros de la parte inferior del elemento, esta medida es la cercanía entre agujeros, en la siguiente imagen se muestra los puntos que se tomaron en cuenta como extremos del calibrador.

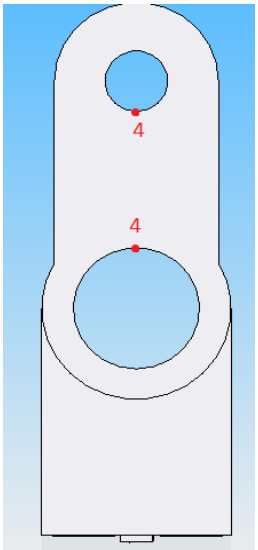


imagen 23. Puntos de medida 4, toma de medidas del ancho de la pieza.

Medida 5**.**

La toma de esta medida está sobre un espesor de los refuerzos, los cuales son necesarios en el elemento para su funcionalidad, para identificar la medida de dicho espesor se tomarán los datos con respecto a las áreas seccionales donde se podría colocar la herramienta de medición.

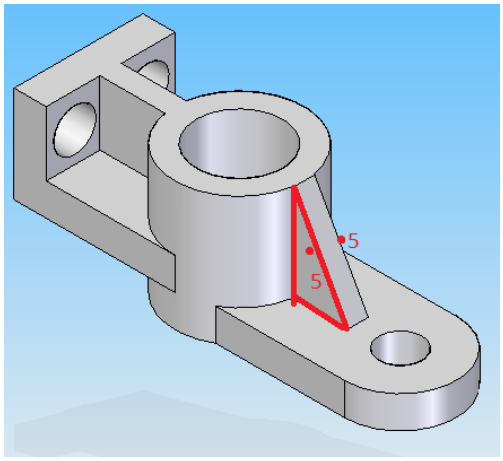


imagen 24. . Puntos de medida 5, toma de medidas del ancho de la pieza.

4.3.5 Medida 6.

La toma de esta medida se realizó sobre el otro espesor de refuerzos, como se observa a continuación, para identificar la medida de dicho espesor se tomaron las medidas con respecto las áreas seleccionadas donde se podrían colocar la herramienta de medición.

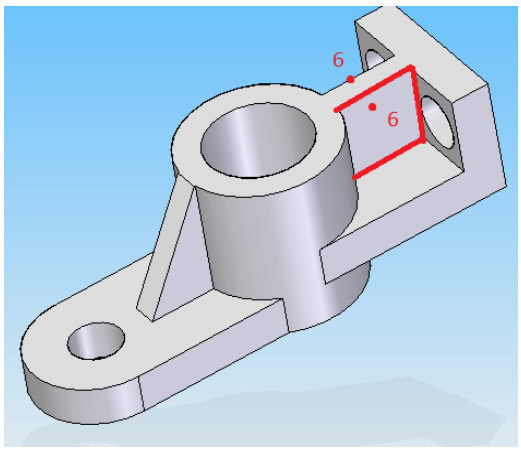


imagen 25. Puntos de medida 6, toma de medidas del espesor de los esfuerzos.

4.4 EXPERIMENTACIÓN CON EL MÉTODO TAGUCHI

Teniendo en cuenta las posibles variaciones de propiedades de impresión para la Ender 3 por medio de es software CURA, podemos calcular hasta 81 combinaciones posibles.

4.4.1 Identificación de los elementos impresos.

Para poder identificar cada impresión se le extrajo un número respectivo que coincide con la corrida o impresión a realizarse, este número se ubicó en una de las superficies, como marca, esto se hace con el fin que cada impresión tenga un registro de las propiedades definidas.

Además, esta forma de rotular las piezas se hizo para que en los procesos posteriores de disolución de la materia de soporte o posibles acabados superficiales no se pierda el rasgo de identificación.

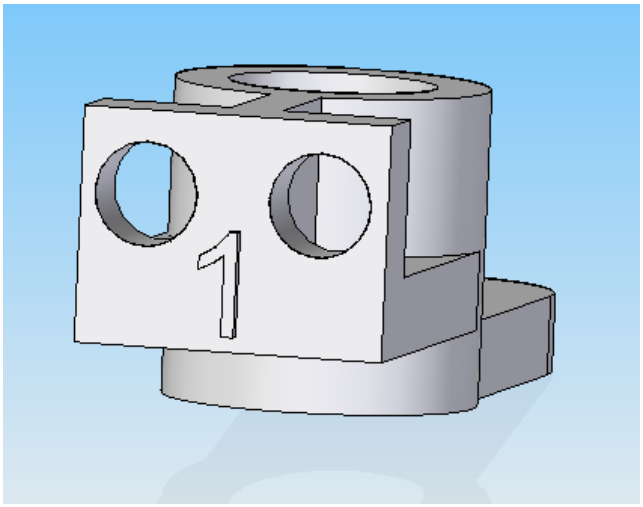


imagen 26. Extrusión del número de corrida correspondiente

4.4.2 Factores y niveles.

Se seleccionó un arreglo ortogonal L9 para la matriz interna, permitiendo estudiar los CUATRO factores a TRES niveles cada uno. En la tabla 7 se observan los factores estudiados, sus respectivos niveles y el código con que se identificaron en esta sección.

Tabla 6

		NIVEL		
FACTOR	CODIGO	1	2	3
ALTURA DE CAPA	A	0.12	0.15	0.2
RELLENO (%)	B	20% rejilla	40% triangulo	60% cubico
VELOCIDAD DE IMPRESION (mm/s)	D	40	50	70
POSICION	E	1	2	3

Tabla 6. Diseño Taguchi, estudio de factores y niveles para el análisis dimensional.

Autoría Propia.

4.4.3 Estudio en Minitab.

4.4.3.1 *Diseño de Taguchi para Minitab.*

Se seleccionó un arreglo ortogonal L9 para la matriz interna, permitiendo estudiar máximo cuatro factores a tres niveles cada uno.

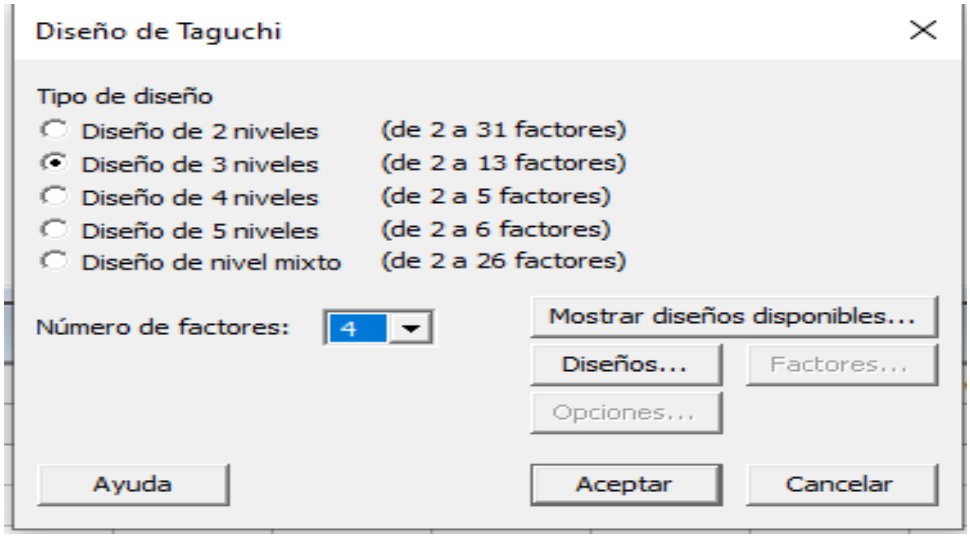


imagen 27. . Ventana de diseño de Taguchi Minitab para definición de número de niveles y factores.

De esta manera se obtuvo el número de corridas necesarias en el proceso de impresiones

Diseño de Taguchi

Resumen del diseño

Arreglo de Taguchi	L9(3^4)
Factores:	4
Corridas:	9

Columnas del arreglo de L9(3^4): 1 2 3 4

imagen 28. Resumen de diseño Taguchi. Minitab.

La tabla 7, muestra las 9 corridas o impresiones con sus factores correspondientes, esta tabla se calcula por medio de Minitab con 4 factores y 3 niveles.

Tabla 7

N. de corrida	A(altura de capa)	B (relleno)	C (vel de impresión)mm/s	D (posición)	A(altura de capa)	B (relleno)	C (vel de impresión)mm/s	D (posición)
1	0.12	20% rejilla	40	1	1	1	1	1
2	0.12	40% triangulo	50	2	1	2	2	2
3	0.12	60% cubico	70	3	1	3	3	3
4	0.15	20% rejilla	50	3	2	1	2	3
5	0.15	40% triangulo	70	1	2	2	3	1
6	0.15	60% cubico	40	2	2	3	1	2
7	0.2	20% rejilla	70	2	3	1	3	2
8	0.2	40% triangulo	40	3	3	2	1	3
9	0.2	60% cubico	50	1	3	3	2	1

Tabla 6. Propiedades para cada corrida, con su código determinado por nivel.

Autoría propia.

4.5 IMPRESIONES EN 3D

Se realizaron las 9 corridas establecidas por eso modelos de diseño robusto y cada impresión se encuentra marcada con su respectivo número para tener claridad de las propiedades correspondientes para cada corrida.

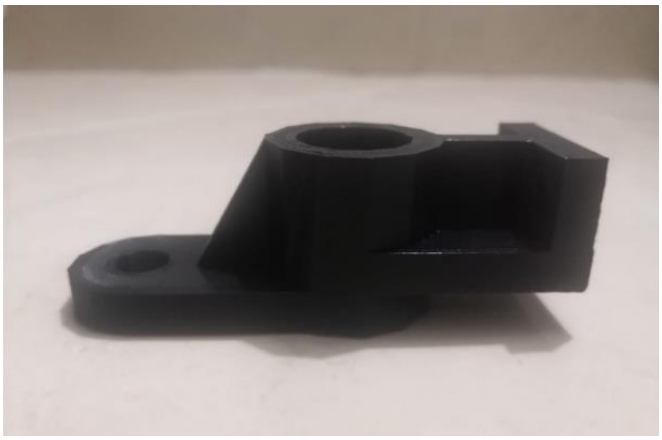


imagen 29. Pieza impresa en 3D foto 1.



imagen 30.Pieza impresa en 3D foto 2



imagen 31. Pieza impresa en 3D foto 3.

4.5.1 Tiempos de impresión y cantidad de PLA utilizado por impresión por impresión.

N. de corrida	tiempo de impresión	material PLA (gr)
1	4h 26 min	21
2	6h 24 min	28
3	6h 46 min	31
4	6h 33 min	23
5	3h 22min	25
6	7h 1min	35
7	4h 9min	34
8	5h 8min	26
9	4h 1min	34
total	46h 8min	257

Tabla 7, porcentaje de material gastado por PLA y tiempos de impresión por corrida.

En la tabla 7 se observan las cantidades de material utilizado para cada unas de las impresiones o corridas y el tiempo de duración que tardo la maquina en desarrollar cada prototipo teniendo un tiempo de trabajo de 46 h con 8 min y una cantidad en gramos de PLA que se imprimió de 257 gr.

La impresión numero 6 es la que más duro con horas de trabajo para imprimir y también presento una de las cantidades de impresión más elevadas, por otra parte

la impresión numero 5 es la impresión que menos se demoró, teniendo una utilización de 25 gr de PLA.

4.6 ARREGLO EXPERIMENTAL POR TAGUCHI

“La técnica de Diseños Experimentales de Taguchi, permitió reducir el número de corridas experimentales en un 84% en relación a un diseño factorial completo. Por lo tanto, el tiempo y costo de la experimentación se redujo en la misma proporción” (Taguchi, 2001)

Se puede ver, que el arreglo experimental seleccionado junto con los valores de las 6 operaciones de medición propuestas y la razón señal-ruido correspondiente, ayudan la interpretación de las variables que afectan de manera pronunciada las dimensionalidad de los elementos desarrollados por manufactura aditiva.

4.7 TOMA DE MEDIDAS

4.8.1 Toma de medida 1, 2, 3.

Las primeras 4 medidas se tomaron con un Calibrador Pie De Rey Digital 6 Mitutoyo 500-196-30b con Precisión: 0,01 mm



imagen 32. Calibrador digital.

Especificaciones técnicas

- ✓ MARCA Mitutoyo
- ✓ CÓDIGO 500-196-30B
- ✓ TIPO Digital
- ✓ RANGO DE MEDICIÓN 0-150 MM
- ✓ EXACTITUD ± 0,02 MM

Se ejecutaron tres medidas tomadas con el calibrador digital 6 Mitutoyo 500-196-30b de manera consecutiva para cada corrida, manteniendo algunas posibles utilizaciones de la herramienta de medición con el fin de poder implementar la reproducibilidad y repetibilidad de los elementos impresos, esto se mantendrá para las cuatro medidas estudiadas con el calibrador.

Se puede observar algunas tomas de esta posible manera de medir, para cada sección que se planteó medir, un ejemplo claro de esta situación es la toma de medidas aleatorias por todo el contorno perimetral de los diámetros más representativos en los elementos, esto también ayuda al acercamiento de las medidas nominales que se pretende obtener en las impresiones.



imagen 33. Toma medida 1.



imagen 34.Toma medida 2.



imagen 35. Toma medida 3.

4.7.1.1 Valores tomados por la medición obtenida para el calibrados.

Tabla 8

					DATOS MEDIDA 1			
corrida No	A	B	C	D	DATO 1	DATO 2	DATO 3	MEDIDA PROMEDIO
1	1	1	1	1	19,47	19,32	19,63	19,47
2	1	2	2	2	19,65	19,88	19,57	19,70
3	1	3	3	3	19,53	19,73	19,79	19,68
4	2	1	2	3	19,73	19,68	19,93	19,78
5	2	2	3	1	19,38	19,57	19,31	19,42
6	2	3	1	2	19,38	19,77	19,68	19,61
7	3	1	3	2	19,49	19,43	19,72	19,55
8	3	2	1	3	19,93	19,96	20,04	19,98
9	3	3	2	1	19,5	19,76	19,58	19,61

Tabla 8. Promedio de medidas obtenidas para cada corrida según la medida 1.

Autoría propia.

Tabla 9

					DATOS MEDIDA 2			
corrida No	A	B	C	D	DATO 1	DATO 2	DATO 3	MEDIDA nominal
1	1	1	1	1	29,93	29,96	29,92	29,94
2	1	2	2	2	30	30,01	29,99	30,00
3	1	3	3	3	29,74	29,73	29,75	29,74
4	2	1	2	3	29,72	29,71	29,7	29,71
5	2	2	3	1	29,95	30,01	30	29,99
6	2	3	1	2	29,99	30,03	30,02	30,01
7	3	1	3	2	30,07	30,03	30,07	30,06
8	3	2	1	3	29,72	29,69	29,65	29,69
9	3	3	2	1	29,86	29,96	29,84	29,89

Tabla 9. Promedio de medidas obtenidas para cada corrida según la medida 2. Promedio de medidas obtenidas para cada corrida según la medida 2.

Autoría propia.

Tabla 10

					DATOS MEDIDA 3			
corrida No	A	B	C	D	DATO 1	DATO 2	DATO 3	MEDIDA nominal
1	1	1	1	1	9,72	9,69	9,57	9,66
2	1	2	2	2	9,53	9,7	9,6	9,61
3	1	3	3	3	9,83	9,67	9,69	9,73
4	2	1	2	3	9,92	9,62	9,72	9,75
5	2	2	3	1	9,5	9,66	9,7	9,62
6	2	3	1	2	9,54	9,61	9,4	9,52
7	3	1	3	2	9,61	9,66	9,55	9,61
8	3	2	1	3	9,77	10,06	9,92	9,92
9	3	3	2	1	9,86	9,82	9,76	9,81

Tabla 10. Promedio de medidas obtenidas para cada corrida según la medida 3.

Autoría propia.

Tabla 11

					DATOS MEDIDA 4			
corrida No	A	B	C	D	DATO 1	DATO 2	DATO 3	MEDIDA nominal
1	1	1	1	1	22,85	22,83	22,86	22,85
2	1	2	2	2	22,84	22,88	22,9	22,87
3	1	3	3	3	22,85	22,88	22,87	22,87
4	2	1	2	3	22,71	22,71	22,73	22,72
5	2	2	3	1	22,9	22,8	23	22,90
6	2	3	1	2	22,85	22,86	22,84	22,85
7	3	1	3	2	22,93	22,94	22,93	22,93
8	3	2	1	3	22,63	22,65	22,61	22,63
9	3	3	2	1	22,98	22,97	22,99	22,98

Tabla 11. Promedio de medidas obtenidas para cada corrida según la medida 4

Autoría propia.

4.8.2 Toma de medida 4,5.

Para el caso de las medidas 4 y 5 se tomaron los resultados con el micrómetro mitutoyo de manera consecutiva para cada corrida.

Se pudo observar algunas tomas de esta posible manera de medir, un ejemplo de esta situación es la toma de medidas aleatorios por diferentes lugares donde se puede ubicar el micrómetro.



imagen 36. Micrómetro digital.

Especificaciones técnicas

- ✓ TIPO Digital
- ✓ Rango (Pulg. / Mm.)0-1" / 0-25 mm
- ✓ Precisión +.00005"
- ✓ Resolución 00005" / .001 mm

Valores tomados por la medición obtenida para el calibrados.

Tabla 12

					DATOS MEDIDA 5			
corrida No	A	B	C	D	DATO 1	DATO 2	DATO 3	MEDIDA nominal
1	1	1	1	1	4,95	5,013	4,94	4,97
2	1	2	2	2	5,02	5,033	5,02	5,02
3	1	3	3	3	5,44	5,416	5,57	5,47
4	2	1	2	3	5,21	5,267	5,18	5,22
5	2	2	3	1	5,04	5,192	5,05	5,10
6	2	3	1	2	5,08	5,084	5,06	5,08
7	3	1	3	2	5,04	5,073	5,08	5,07
8	3	2	1	3	5,33	5,272	5,33	5,31
9	3	3	2	1	5,14	5,111	5,06	5,10

Tabla 12. Promedio de medidas obtenidas para cada corrida según la medida 4.

Autoría propia.

Tabla 13

					DATOS MEDIADA 6			
corrida No	A	B	C	D	DATO 1	DATO 2	DATO 3	MEDIA nominal
1	1	1	1	1	5,13	5,11	5,08	5,11
2	1	2	2	2	5,06	5,02	5,06	5,05
3	1	3	3	3	5,47	5,38	5,39	5,41
4	2	1	2	3	5,33	5,25	5,27	5,28
5	2	2	3	1	5,07	5,08	5,05	5,07
6	2	3	1	2	5,08	5,10	5,08	5,08
7	3	1	3	2	5,07	5,06	5,05	5,06
8	3	2	1	3	5,26	5,27	5,28	5,27
9	3	3	2	1	5,13	5,01	5,04	5,06

Tabla 13. Promedio de medidas obtenidas para cada corrida según la medida 5.

Autoría propia

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 INTERPRETACIONES DE LOS VALORES POR MEDIO DE MINITAB

Relación de señales de ruido.

Se ingresó el promedio de los valores obtenidos en el programa de Minitab para poder obtener la mejor interpretación de los arreglos ortogonales, comparando las diferentes corridas con los resultados obtenidos para cada impresión, además se dejó claro que es lo que sirve, es decir cuál es la relación de ruido que más nos conviene en este caso se define qué nominal es lo mejor.

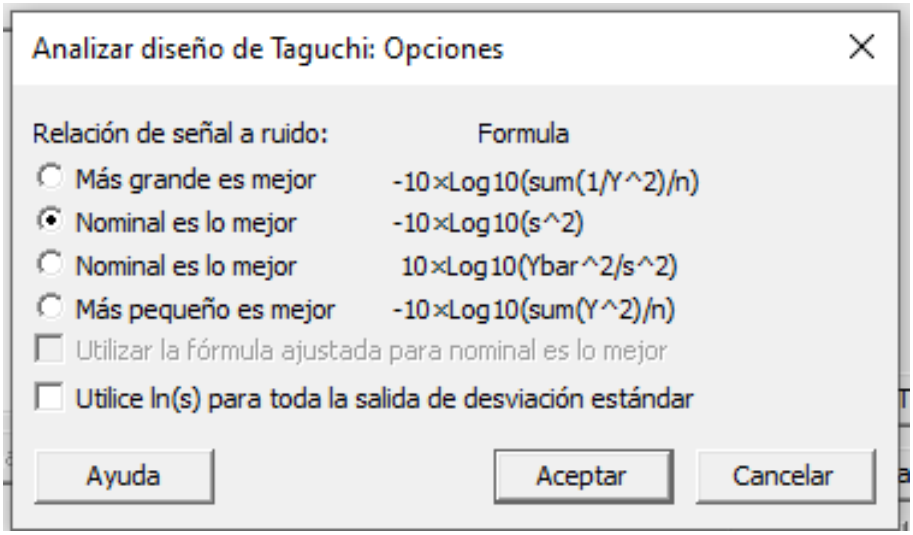


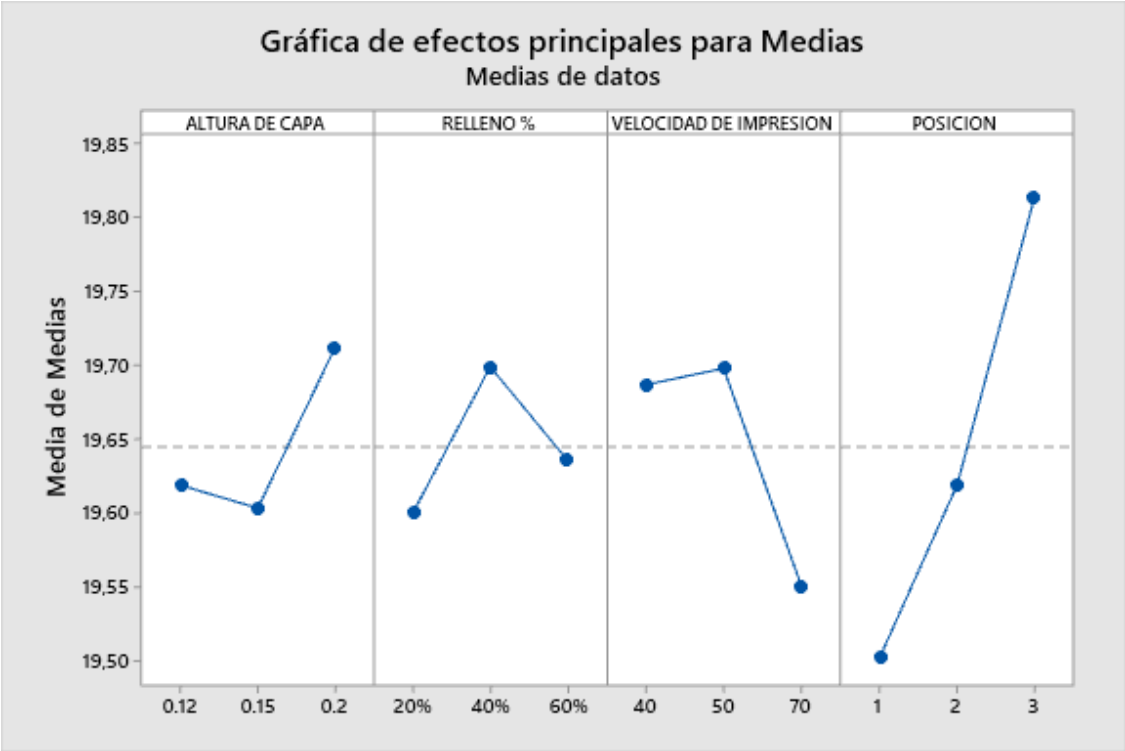
imagen 37. Ventana análisis de diseño, Identificación de análisis de ruido para el programa de Minitab.

5.1.2 Análisis de gráficos ortogonales.

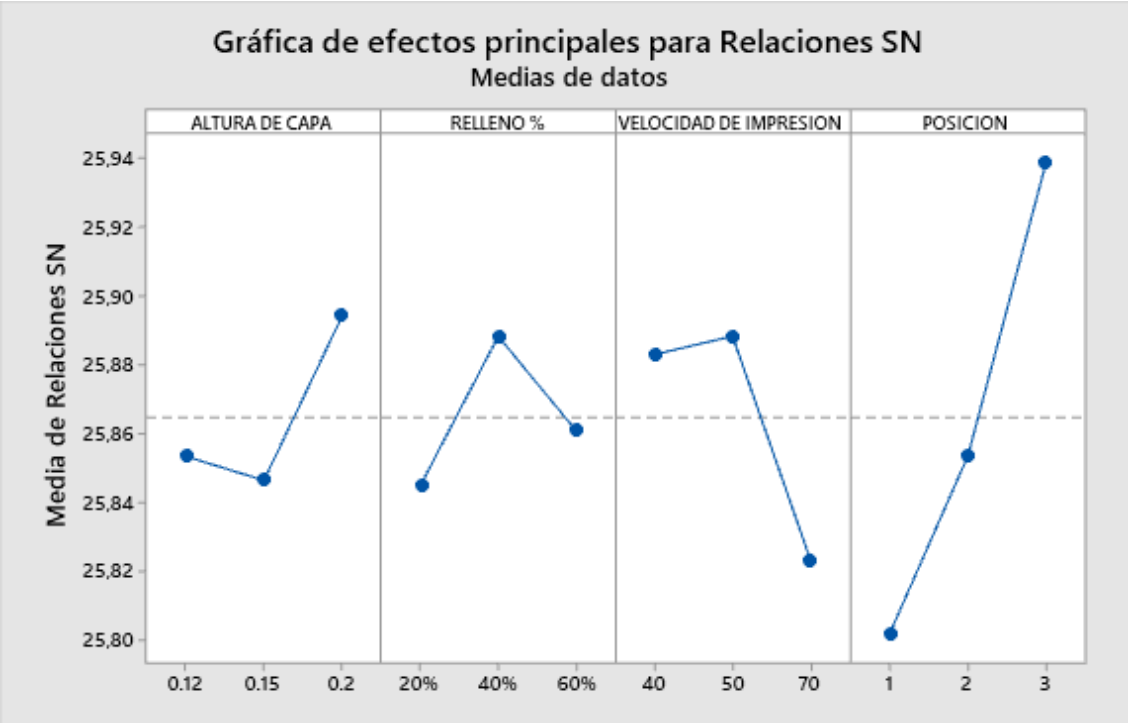
De esta manera el programa arrojó algunos resultados y gráficas que planten cuáles son las variables de ruido que afectan con mayor error al proceso y cuáles son los niveles en los que se encuentran mejores resultados con respecto a los valores nominales establecidos, estas se obtuvieron para las 6 medidas.

Es así que podemos identificar el nivel que alcanza mejores valores en este proceso para cada una de las propiedades estudiadas

5.1.2.1 *Gráficas de medidas con calibrador (medias 1,2,3,4).*

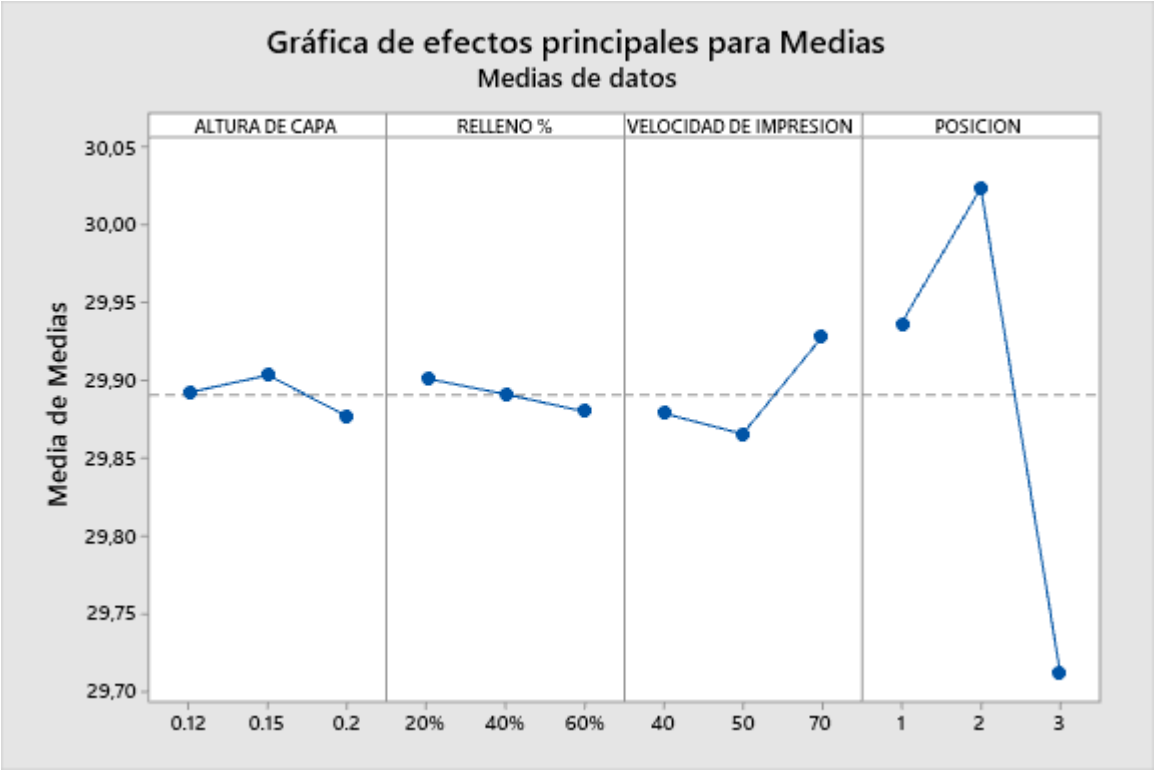


Grafica 1.Gráfica de efectos principales para medias, medida 1.

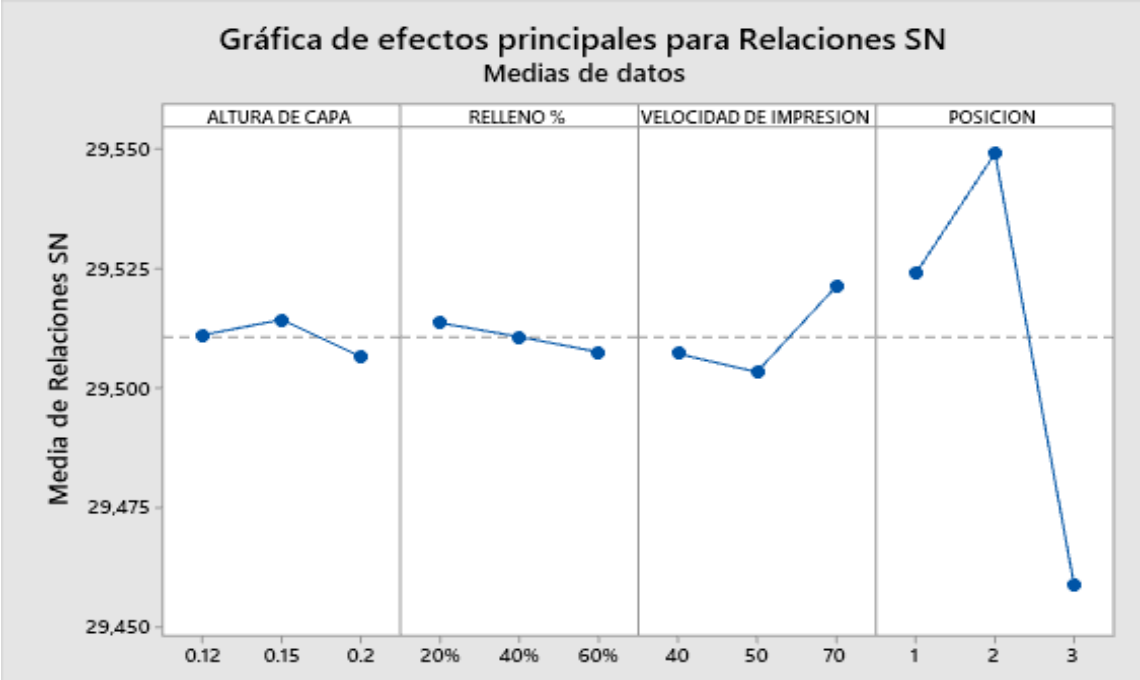


Grafica 2. Gráfica de efectos principales para relaciones de ruido, medida 1.

En la gráfica 4 y 5 se puede observar que todas las propiedades presentan variaciones altas para cada uno de sus niveles, teniendo como propiedad con mayor variación la posición, de esta manera se denota que la posición en el nivel 3 es la que más se acerca al valor que se pretende alcanzar con las impresiones, este valor nominal es el de 20 mm.

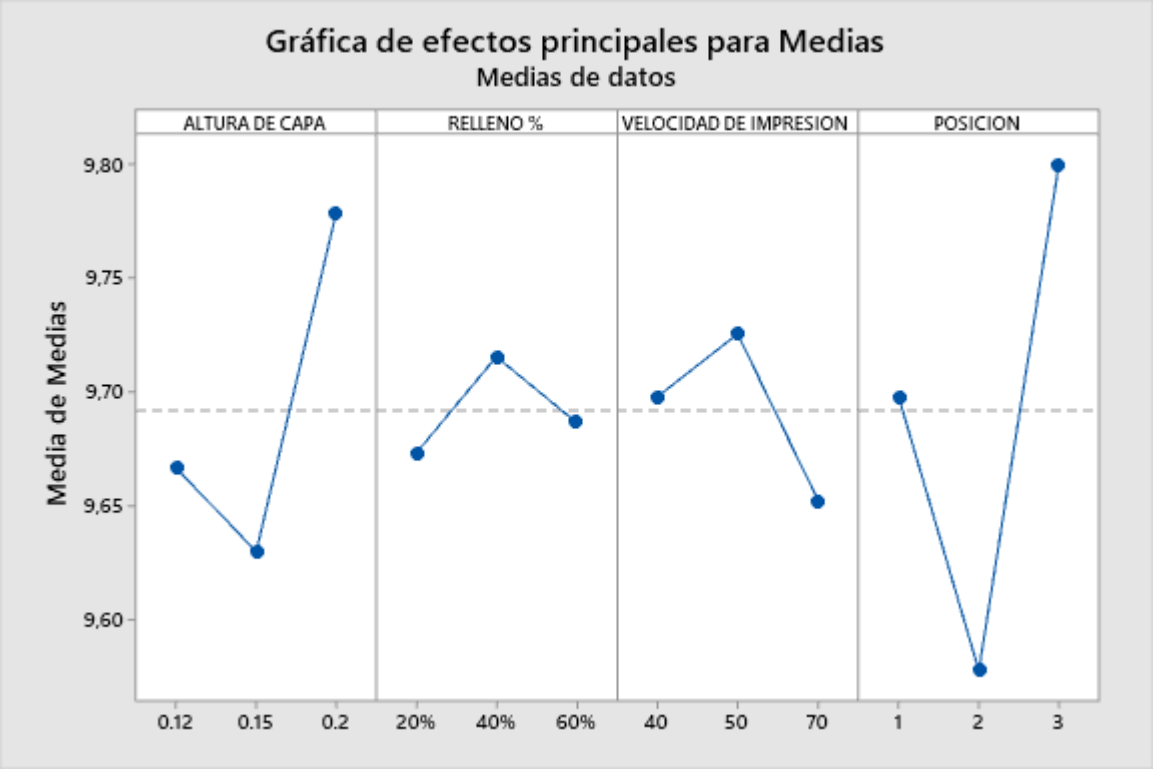


Grafica 3. Grafica de efectos principales para medias, medida 2.

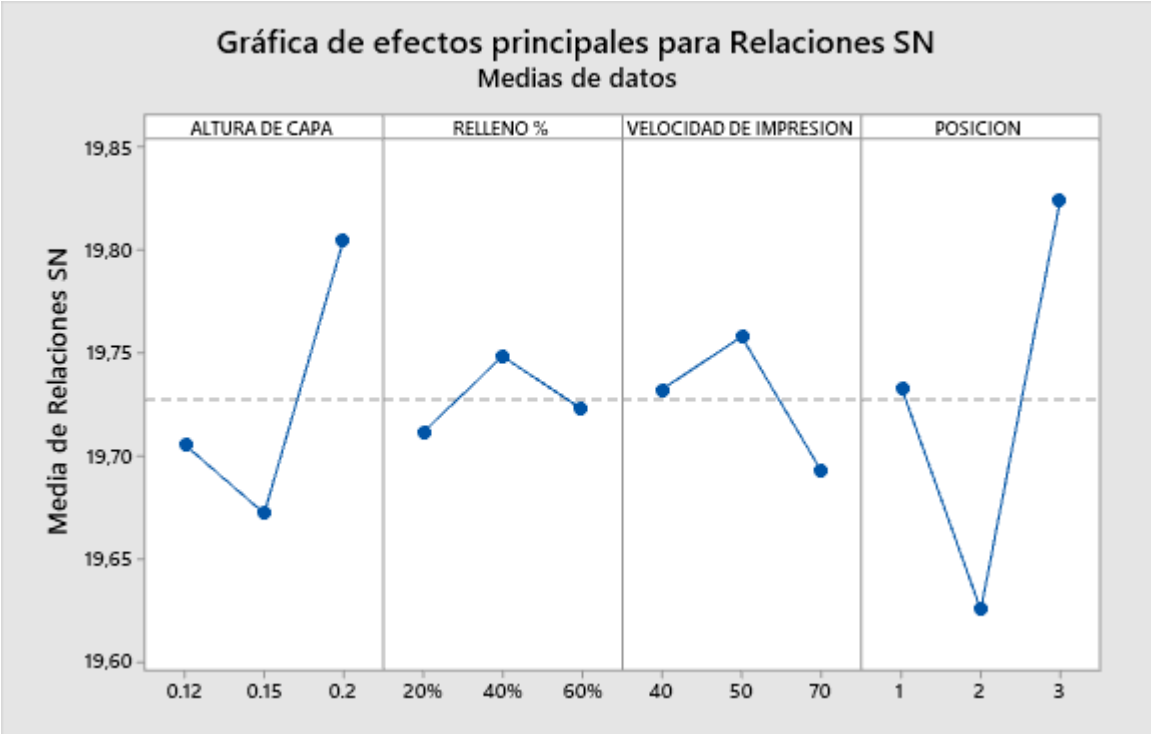


Grafica 4.Gráfica de efectos principales para relaciones de ruido, medida 2.

En la figura 6 y 7 las propiedades de altura de capa, porcentaje de relleno y de velocidad de impresión no presentan dispersiones amplias pero la propiedad de posición de impresión si lo hace, obteniendo como mejor resultado la posición número 2 para aproximarse al valor ideal de 30 mm.

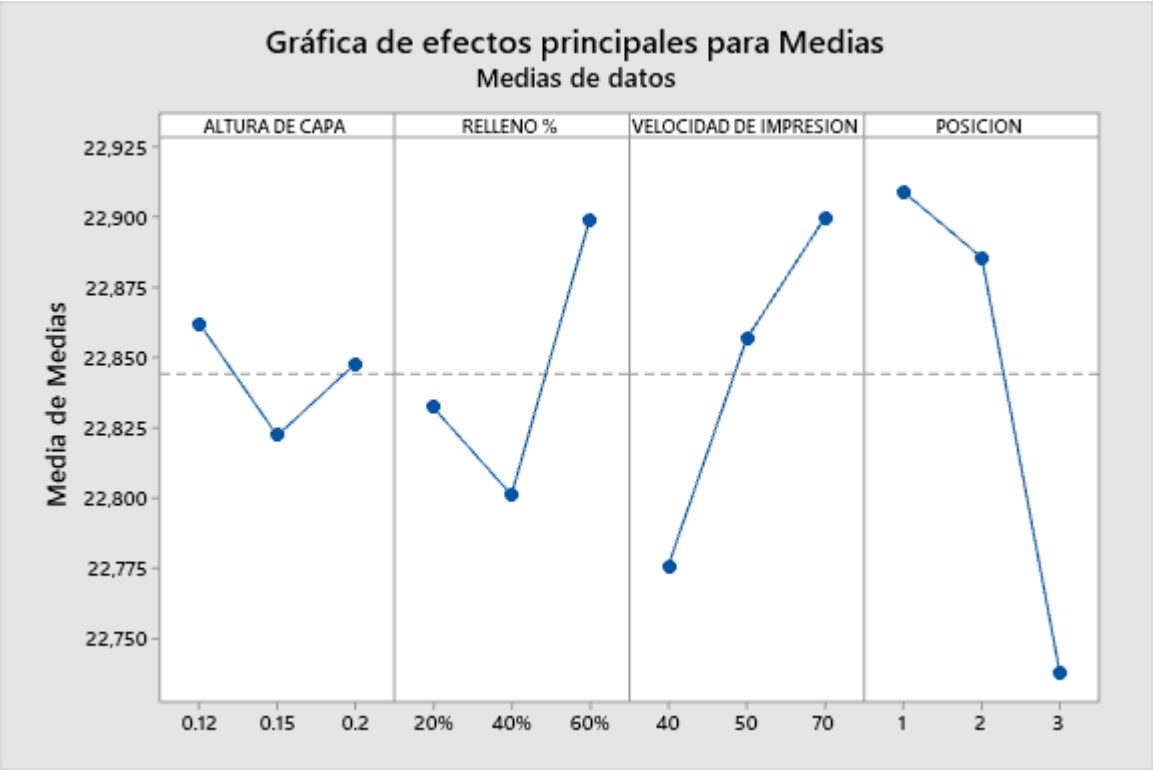


Grafica 5. Gráfica de efectos principales para medias, medida 3.

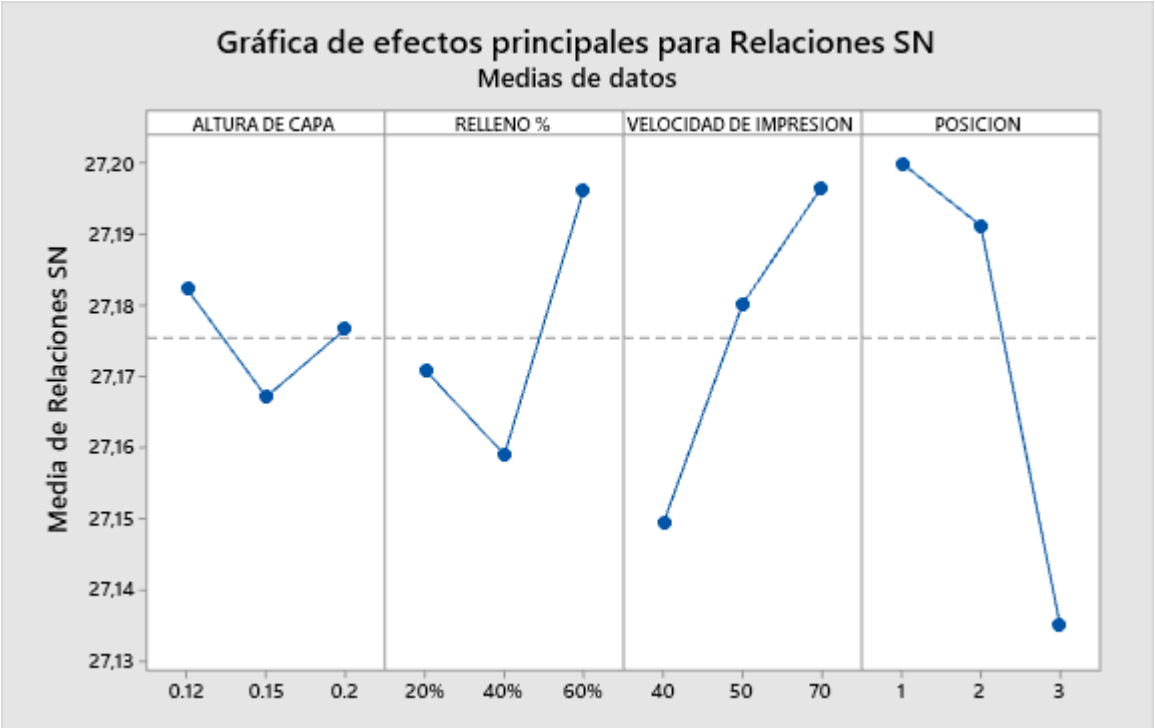


Grafica 6. Gráfica de efectos principales para relaciones de ruido, medida 3.

En la gráfica 8 y 9 las propiedades que más mantienen un rango amplio de dispersión son las de altura de capa y la de posición de impresión, obteniendo en su nivel número 3 (0,2 de altura de capa y posición 3) la mejor aproximación a los 10 mm deseados en los criterios dimensionales del elemento.



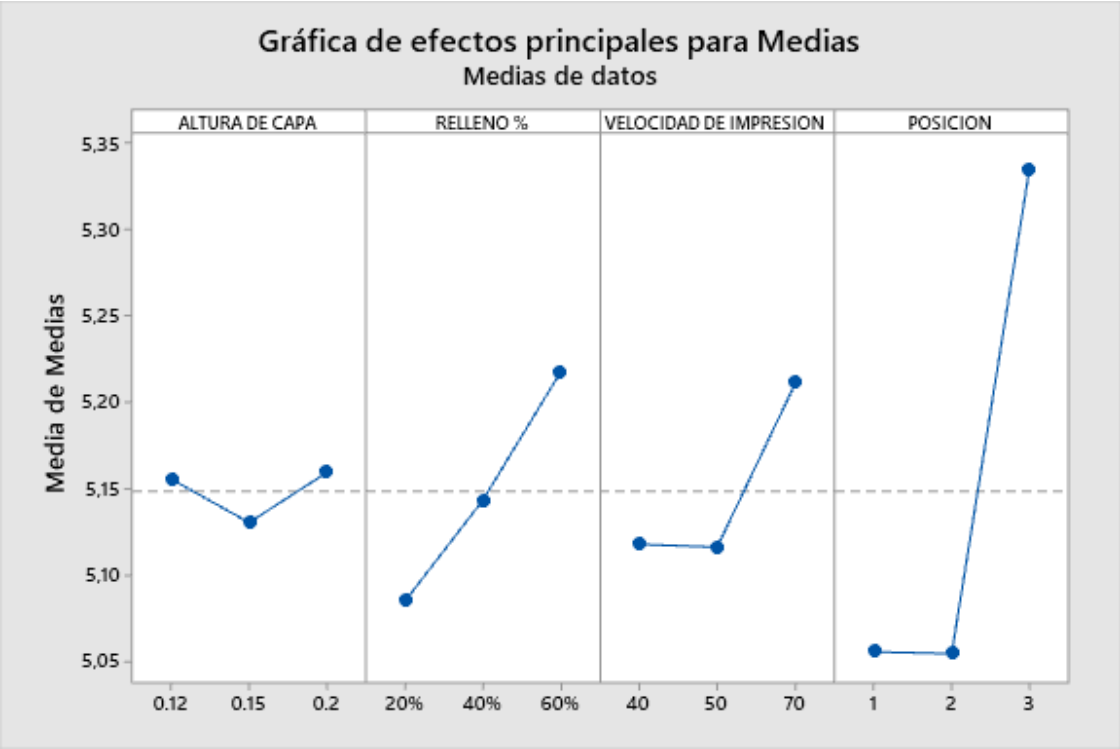
Grafica 7. Gráfica de efectos principales para medias, medida 4.



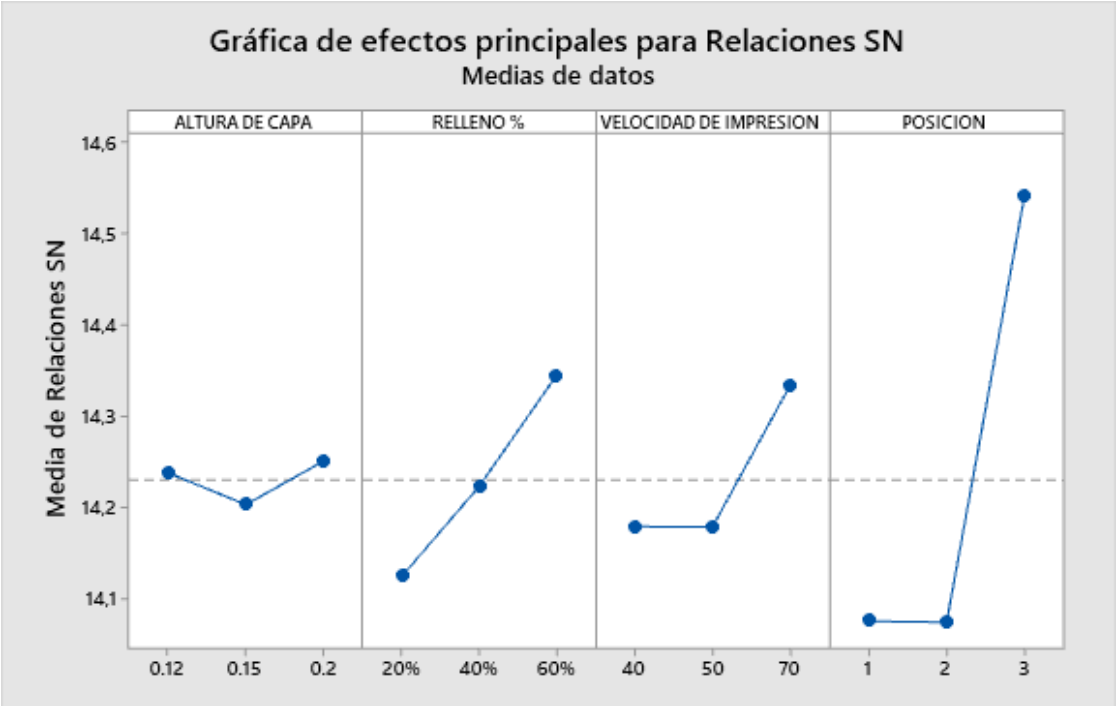
Grafica 8. Gráfica de efectos principales para relaciones de ruido, medida 4.

Para la gráfica 10 y 11, se estudia una medida derivada de la impresión, en la cual se percibe que las propiedades de relleno, velocidad de impresión y posición, afectan directamente la medida derivada, llegando a hacer que esta sea la que presenta mayor complicación para poder alcanzar el valor nominal deseado.

5.1.2.2 *Gráficas de medidas con micrómetro (medias 5,6).*

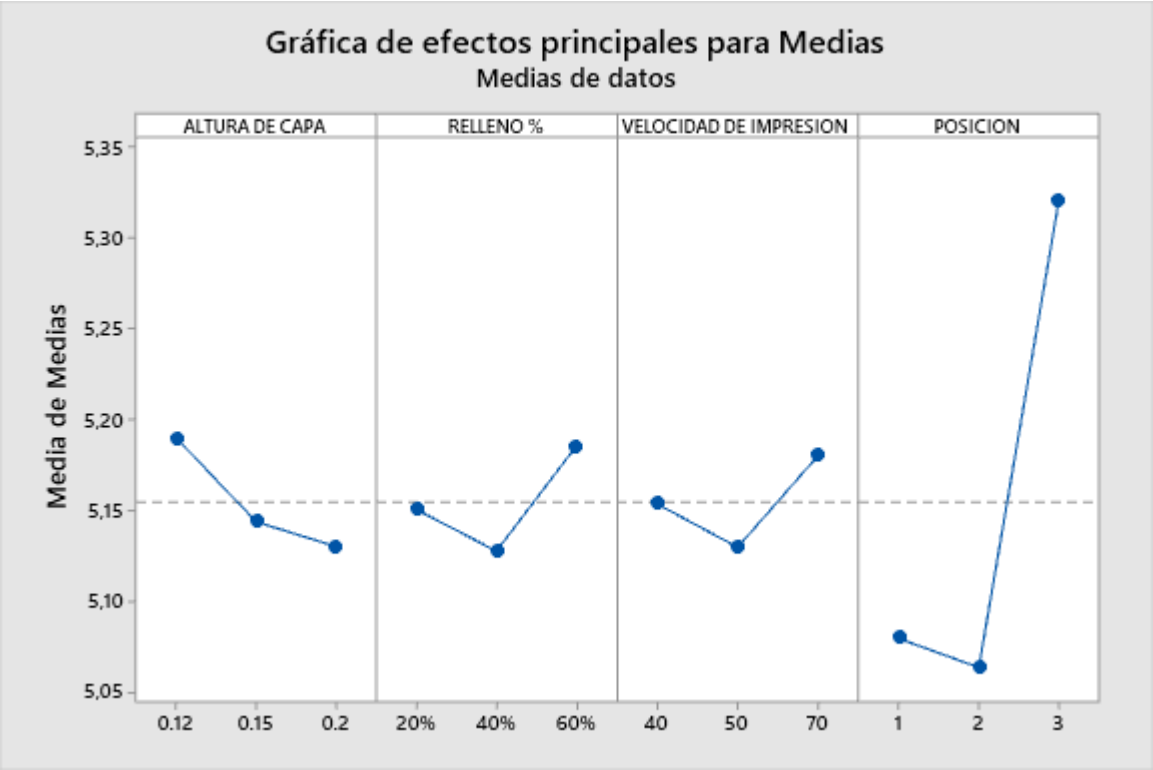


Grafica 9. Gráfica de efectos principales para medias, medida 5.

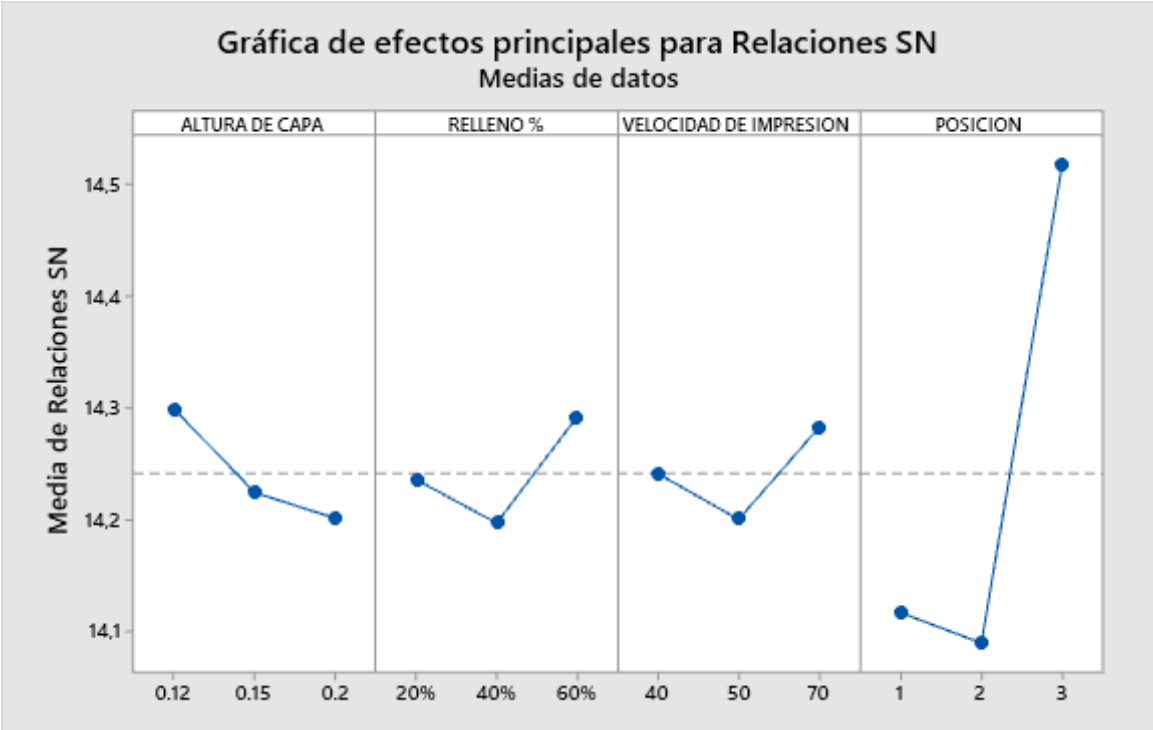


Grafica 10. Gráfica de efectos principales para relaciones de ruido, medida 5

Con las características que nos arrojan las gráficas constatadas en las figuras 12 y 13, se pudo observar que en los niveles 1 y 2 para las propiedades de velocidad de impresión y posición de impresión no presentan desigualdad y tienden a permanecer constantes, pero la posición sigue siendo la propiedad con mayor importancia en la variación de los resultados medidos.



Grafica 11. Gráfica de efectos principales para medias, medida 6.



Grafica 12. Gráfica de efectos principales para relaciones de ruido, medida 6.

En la figura 14 y 15, para estas últimas medidas tomadas se pudo seguir observando cuál es la propiedad con mayor interacción en el proceso, la cual es la posición de impresión, además los factores de relleno y velocidad de impresión se comportan de manera similar tanto para las relaciones de ruido y las medias obtenidas.

5.1.3 Análisis tabla de respuestas.

5.1.3.1 *Tablas de respuestas.*

Para los análisis realizados se encontraron unas tablas de respuestas específicas para cada una de las medidas en las cuales se puede observar cuál de los niveles obtiene un acercamiento más efectivo hacia el valor nominal, sabiendo que entre más cercano al valor nominal el resultado es mucho mejor.

Tabla 14

Tabla de respuesta para medias, medida 1.

Nivel	ALTURA DE CAPA	RELLENO %	VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	POSICIÓN
1	19,62	19,60	19,69	19,50
2	19,60	19,70	19,70	19,62
3	19,71	19,64	19,55	19,81
Delta	0,11	0,10	0,15	0,31
Clasificar	3	4	2	1

Tabla 14. Tabla de resultados según la medida 1.

Autoría propia.

Tabla 15

Tabla de respuesta para medias, medida 2.

Nivel	ALTURA DE CAPA	RELLENO %	VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	POSICIÓN
1	29,89	29,90	29,88	29,94
2	29,90	29,89	29,87	30,02
3	29,88	29,88	29,93	29,71
Delta	0,03	0,02	0,06	0,31
Clasifica	3	4	2	1

Tabla 15. Tabla de resultados según la medida 2.

Autoría propia.

Tabla 16

Tabla de respuesta para medias, medida 3.

Nivel	ALTURA DE CAPA	RELLENO %	VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	POSICIÓN
1	9,667	9,673	9,698	9,698
2	9,630	9,716	9,726	9,578
3	9,779	9,687	9,652	9,800
Delta	0,149	0,042	0,073	0,222
Clasificar	2	4	3	1

Tabla 16. tabla de resultados según la medida 3.

Autoría propia.

Tabla 17.

Tabla de respuesta para medias, medida 4

Nivel	ALTURA DE CAPA	RELLENO %	VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	POSICIÓN
1	22,86	22,83	22,78	22,91
2	22,82	22,80	22,86	22,89
3	22,85	22,90	22,90	22,74
Delta	0,04	0,10	0,12	0,17
Clasificar	4	3	2	1

Tabla 17.tabla de resultados según la medida 4.

Autoría propia.

Tabla 18

Tabla de respuesta para medias, medida 5.

Nivel	ALTURA DE CAPA	RELLENO %	VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	POSICIÓN
1	5,156	5,085	5,118	5,056
2	5,131	5,143	5,116	5,055
3	5,160	5,217	5,211	5,335
Delta	0,029	0,132	0,095	0,280
Clasificar	4	2	3	1

Tabla 18.tabla de resultados según la medida 5.

Autoría propia.

Tabla 19

Tabla de respuesta para medias, medida 6

Nivel	ALTURA DE CAPA	RELLENO %	VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	POSICIÓN
1	5,190	5,151	5,154	5,080
2	5,144	5,128	5,130	5,064
3	5,130	5,186	5,180	5,320
Delta	0,060	0,058	0,051	0,257
Clasificar	2	3	4	1

Tabla 19

Tabla 19. Tabla de resultados según la medida 6.

Autoría propia.

5.1.3.2 Niveles adecuados de impresión para cada medida.

Es así que se puede clasificar cuáles son los niveles más adecuados para cada uno de las propiedades de impresión, y de esta manera se simula el proceso con los niveles que alcanzan mayor proximidad al valor nominal, esta simulación se desarrolla por Minitab para cada una de las medidas dimensionales que se han estudiado con anterioridad.

Para la medida número 1 del diámetro mayor interno, por medio de su tabla de respuestas, se puede determinar la combinación más adecuada, como se muestra a continuación, en la tabla 20.

Tabla 20

	MEDIDA 1			
	ALTURA DE CAPA	RELLENO (%)	VELOCIDAD DE IMPRESION (mm/s)	POSICION
NIVEL	3	2	2	3
PROPIEDAD	0.2	40% triángulo	50	3

Tabla 20. Tabla de resultados según la medida 1

Autoría propia.

Al realizar la simulación por el método Taguchi se tuvo un valor medio de predicción de 19.98 mm que se acerca demasiado al valor nominal de 20 mm.

En el caso de la medida dos de la superficie inferior de elemento se obtuvieron como combinación más adecuada las propiedades de la tabla 21.

Tabla 21

	MEDIDA 2			
	ALTURA DE CAPA	RELLENO (%)	VELOCIDAD DE IMPRESION (mm/s)	POSICION
NIVEL	2	1	3	2
PROPIEDAD	0.15	20 % rejilla	70	2

Tabla 21. Tabla de resultados según la medida 2.

Autoría propia.

Es resultado obtenido por la simulación es de mm 30,08 mm teniendo como valor nominal una longitud de 30 mm.

Para la tercera medida se identificaron las siguientes propiedades para plantear la mejor simulación, dichas propiedades se encuentran en la tabla 22.

Tabla 22

	MEDIDA 3			
	ALTURA DE CAPA	RELLENO (%)	VELOCIDAD DE IMPRESION (mm/s)	POSICION
NIVEL	3	2	2	3
PROPIEDAD	0.2	40% triángulo	50	3

Tabla 22. Tabla de resultados según la medida 3.

Autoría propia.

Con esta simulación se obtuvo un valor de 9,944 mm para un valor deseado de 10 mm.

Tabla 23

	MEDIDA 4			
	ALTURA DE CAPA	RELLENO (%)	VELOCIDAD DE IMPRESION (mm/s)	POSICION
NIVEL	2	2	1	3
PROPIEDAD	0.15	40% triángulo	40	3

Tabla 23. Tabla de resultados según la medida 4.

Autoría propia.

Para esta cota se realiza la simulación por Minitab obteniendo un valor de 22,85 mm siendo uno de los valores que menos se aproxima a la cota nominal de 22,5 mm.

Tabla 24

	MEDIDA 5			
	ALTURA DE CAPA	RELLENO (%)	VELOCIDAD DE IMPRESION (mm/s)	POSICION
NIVEL	2	1	2	2
PROPIEDAD	0.15	20 % rejilla	50	2

Tabla 24. Tabla de resultados según la medida 5.

Autoría propia

En esta cuarta medida se utilizaron estas propiedades para la representación de la mejor simulación con el objetivo de obtener la medida más exacta con respecto al valor nominal de 5 mm, obteniendo un resultado de predicción de 4,94089 mm.

Tabla 25

	MEDIDA 6			
	ALTURA DE CAPA	RELLENO (%)	VELOCIDAD DE IMPRESION (mm/s)	POSICION
NIVEL	3	2	2	2
PROPIEDAD	0.2	40% triángulo	50	2

Tabla 25. Tabla de resultados según la medida 5.

Autoría propia.

Para esta última medida al realizar la simulación con las propiedades que desarrollaran el mejor prototipo se obtuvo una medida de 4,98756 mm que es muy aproximado al valor requerido de 5 mm.

5.1.4 Análisis de porcentaje de contribución de las propiedades de impresión.

Luego se procedió a realizar un análisis de varianza para poder determinar los porcentajes de contribución única de efecto que generan las propiedades de impresión, este porcentaje se calcula para cada medida prevista y se establece un nivel de distribución de 0.05

Donde:

- GL= Grados de libertad
- SC sec. = Suma ajustada de cuadrados Contribución= Porcentaje de contribución en la media para cada propiedad
- SC ajust. = Suma secuencial de cuadrados
- Mc ajust = Cuadrado medio

Tabla 26

Análisis de Varianza medida 1

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.
POSICIÓN	2	0,14821	65,96%	0,14821	0,074105
VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	2	0,04064	18,09%	0,04064	0,020320
RELLENO %	2	0,01505	6,70%	0,01505	0,007527
ALTURA DE CAPA	2	0,02081	9,26%	0,02081	0,010405
Error	0				
Total	8	0,22471	100,00%		

Tabla 26. Análisis de varianza para la contribución de las propiedades de impresión para la medida 1.

Tabla 27

Análisis de Varianza medida 2

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.
ALTURA DE CAPA	2	0,001077	0,66%	0,001077	0,000538
RELLENO %	2	0,000669	0,41%	0,000669	0,000335
VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	2	0,006440	3,95%	0,006440	0,003220
POSICIÓN	2	0,154677	94,97%	0,154677	0,077338
Error	0				
Total	8	0,162862	100,00%		

Tabla 27- Análisis de varianza para la contribución de las propiedades de impresión para la medida 2.

Autoría propia.

Tabla 28

Análisis de Varianza medida 3

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.
ALTURA DE CAPA	2	0,036106	29,75%	0,036106	0,018053
RELLENO %	2	0,002795	2,30%	0,002795	0,001398
VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	2	0,008225	6,78%	0,008225	0,004112
POSICIÓN	2	0,074232	61,17%	0,074232	0,037116
Error	0				
Total	8	0,121358	100,00%		

Tabla 28. Análisis de varianza para la contribución de las propiedades de impresión para la medida 3.

Autoría propia.

Tabla 29

Análisis de Varianza medida 4

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.
ALTURA DE CAPA	2	0,002462	2,65%	0,002462	0,001231
RELLENO %	2	0,014973	16,09%	0,014973	0,007486
VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	2	0,023943	25,73%	0,023943	0,011972
POSICIÓN	2	0,051662	55,53%	0,051662	0,025831
Error	0				
Total	8	0,093040	100,00%		

Tabla 29. Análisis de varianza para la contribución de las propiedades de impresión para la medida 4.

Autoría propia.

Tabla 30

Análisis de Varianza medida 5

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.
ALTURA DE CAPA	2	0,001487	0,73%	0,001487	0,000743
RELLENO %	2	0,026437	13,06%	0,026437	0,013218
VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	2	0,017781	8,78%	0,017781	0,008890
POSICIÓN	2	0,156739	77,42%	0,156739	0,078370
Error	0				
Total	8	0,202444	100,00%		

Tabla 30. Análisis de varianza para la contribución de las propiedades de impresión para la medida 5.

Tabla 31

Análisis de Varianza medida 6

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.
ALTURA DE CAPA	2	0,005886	4,24%	0,005886	0,002943
RELLENO %	2	0,005100	3,67%	0,005100	0,002550
VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	2	0,003838	2,76%	0,003838	0,001919
POSICIÓN	2	0,123994	89,32%	0,123994	0,061997
Error	0				
Total	8	0,138818	100,00%		

Tabla 31.Análisis de varianza para la contribución de las propiedades de impresión para la medida 6. Autoría propia

Autoría propia.

Con base en el análisis de los porcentajes de contribución se dejó claro que la posición de impresión es la característica de proceso que más afecta los posibles resultados obtenidos siendo de un 65,96%; 94,97%, 61,17%, 55%, 54%, 77,42% y 89,32 % para las medidas 1,2,3,4,5,6 respectivamente.

5.2 ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE PROCESO

Este tipo de análisis se realizó para las calidades dimensionales que tengan que cumplir los procesos de manufactura aditiva. Para poder determinar si el diseño del elemento cumple con las características de ingeniería descritas, se utilizarán los datos promedio obtenidos con el Calibrador Digital 6 Mitutoyo 500 y el micrómetro.

El proyecto está enfocado en la obtención de piezas con un alto nivel de exactitud, variando sus condiciones de fabricación. Por ello se tuvo en cuenta las especificaciones de las herramientas de medición y se ha tomado como tolerancia (t): 1 mm.

Según los resultados de medición obtenidos, se debe identificar qué tipo de distribución siguen los datos, para ello se realiza las pruebas de normalidad, este análisis se desarrolla por medio de Minitab con la prueba de default que presenta el programa, la cual es la prueba de Anderson Darling,

5.2.1 Prueba de hipótesis.

Para poder reconocer si los datos cumplen con la normalidad deseada, se ideó una prueba de hipótesis donde se parte de dos ideas, la primera se conoce como la hipótesis nula donde los datos se asemejan a una distribución normal y la segunda es la hipótesis alternativa donde los datos no se asemejan a una distribución normal.

Hipótesis nula: H0 = Los datos se asemejan a una distribución normal.

Hipótesis alternativa: HI = Los datos no se asemejan a una distribución normal.

Para poder clarificar en cuál de estas hipótesis nos encontramos, utilizamos la regla de decisión, es decir, si el valor de probabilidad que tenemos en el análisis es mayor al nivel de significancia no se rechaza la hipótesis nula, y con esto se podría concluir que los datos son normales, pero si ese valor de probabilidad es menor al nivel de significancia se tendrá que rechazar la hipótesis nula, concluyendo que no existe normalidad en los datos.

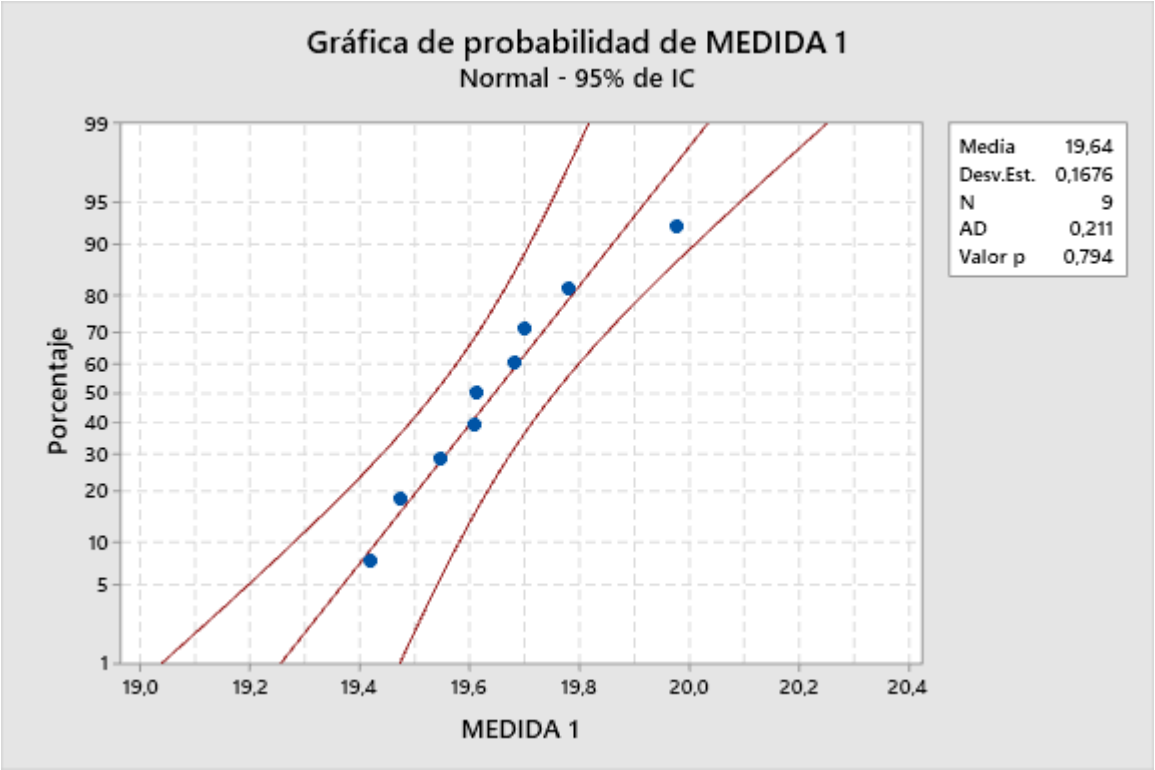
Nivel de significancia: Alfa para nuestro estudio tenemos un (α) = 0,05 que equivale a un nivel de confianza de 95% el cual es alto.



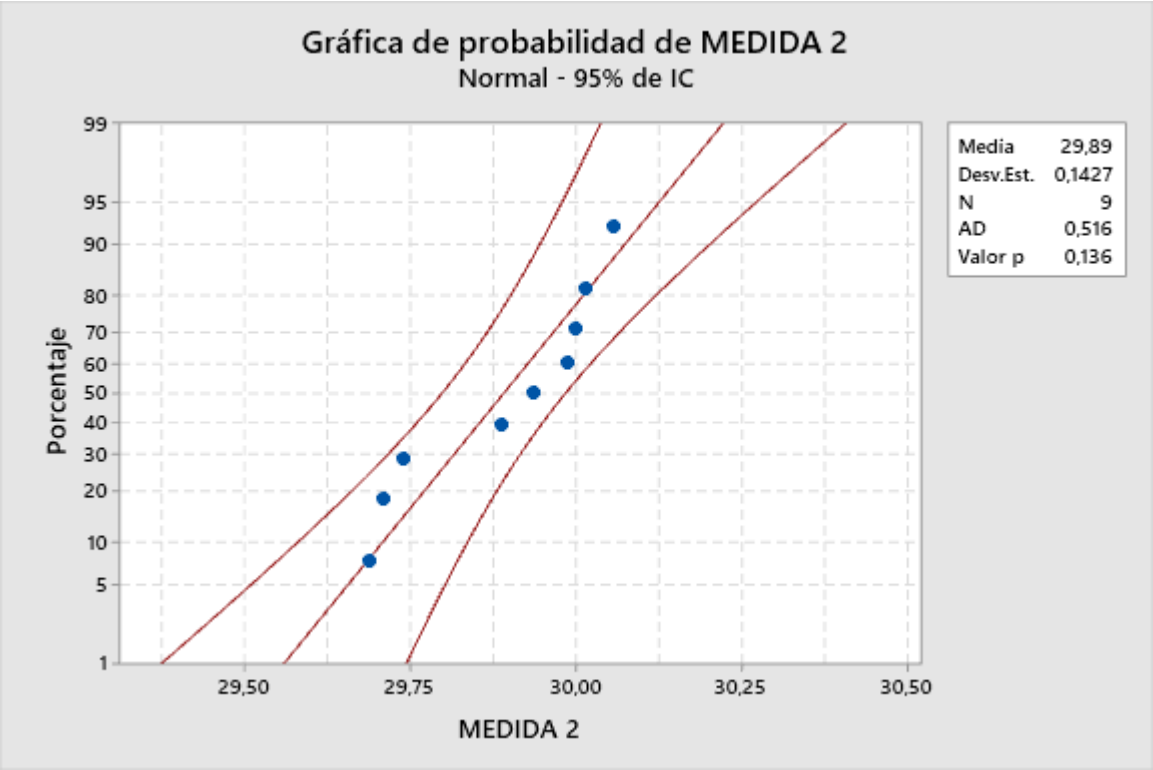
figura 4. Áreas de rechazo de hipótesis

5.2.2 Valores de probabilidad.

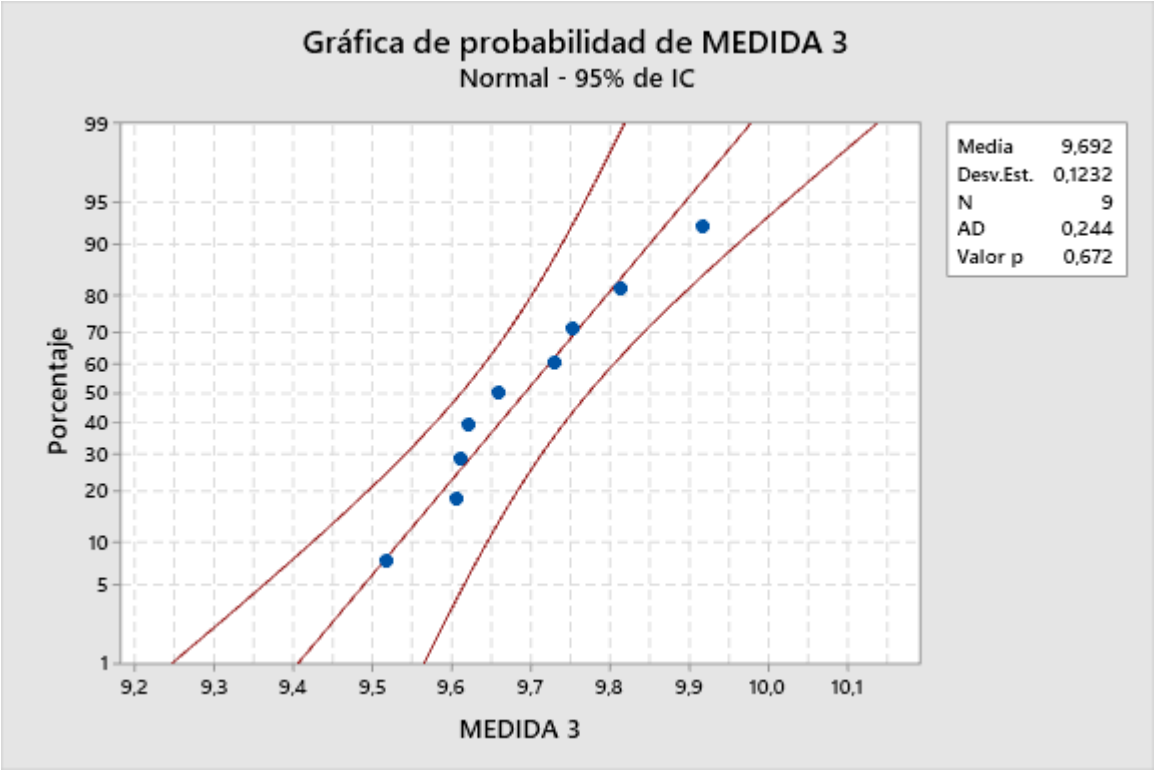
Al realizar el análisis de normalidad por Minitab obtuvo las siguientes gráficas y valores de probabilidad.



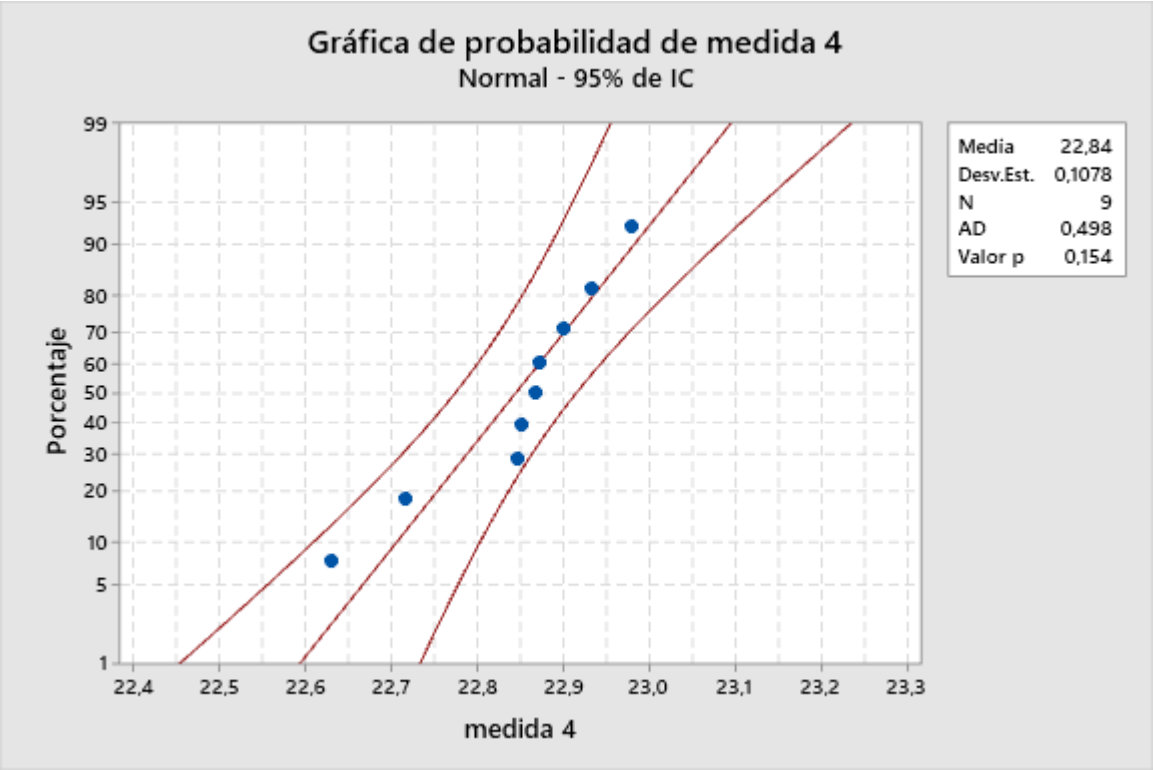
Grafica 13. Gráfica prueba de normalidad para la medida 1.



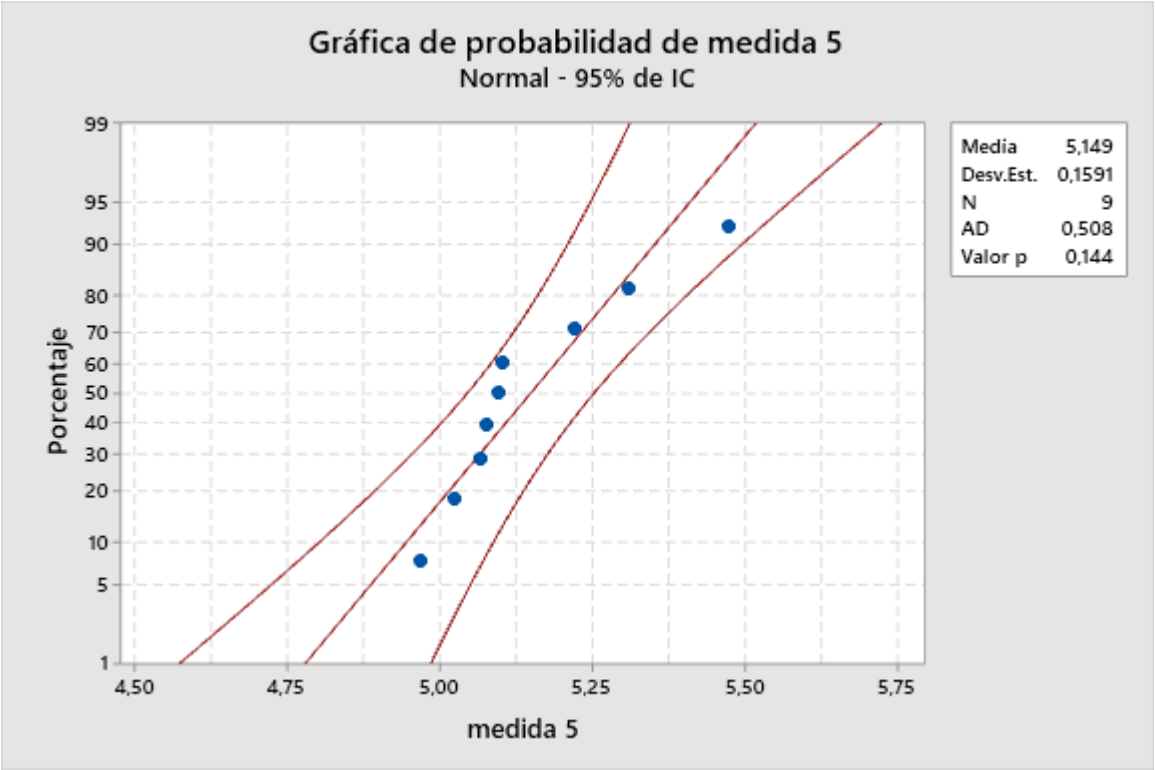
Grafica 14. Gráfica prueba de normalidad para la medida 2.



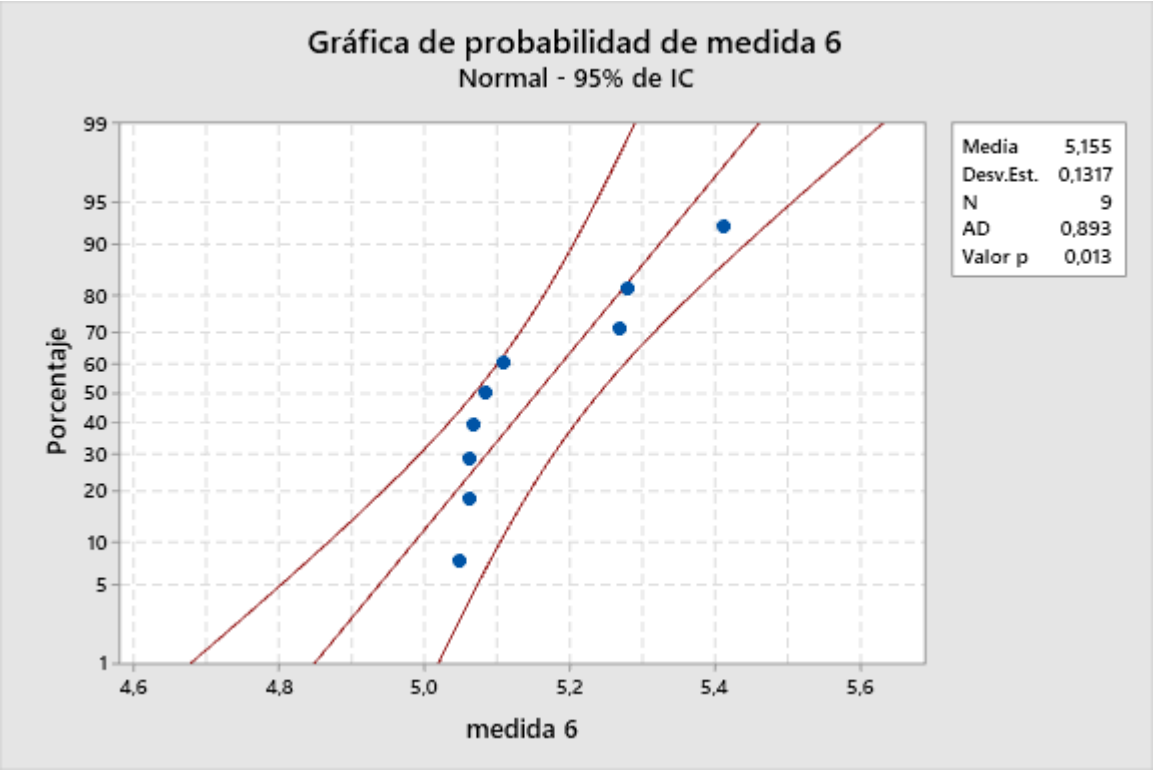
Grafica 15. Gráfica prueba de normalidad para la medida 3.



Grafica 16. Gráfica prueba de normalidad para la medida 4.



Grafica 17. Gráfica prueba de normalidad para la medida 5.

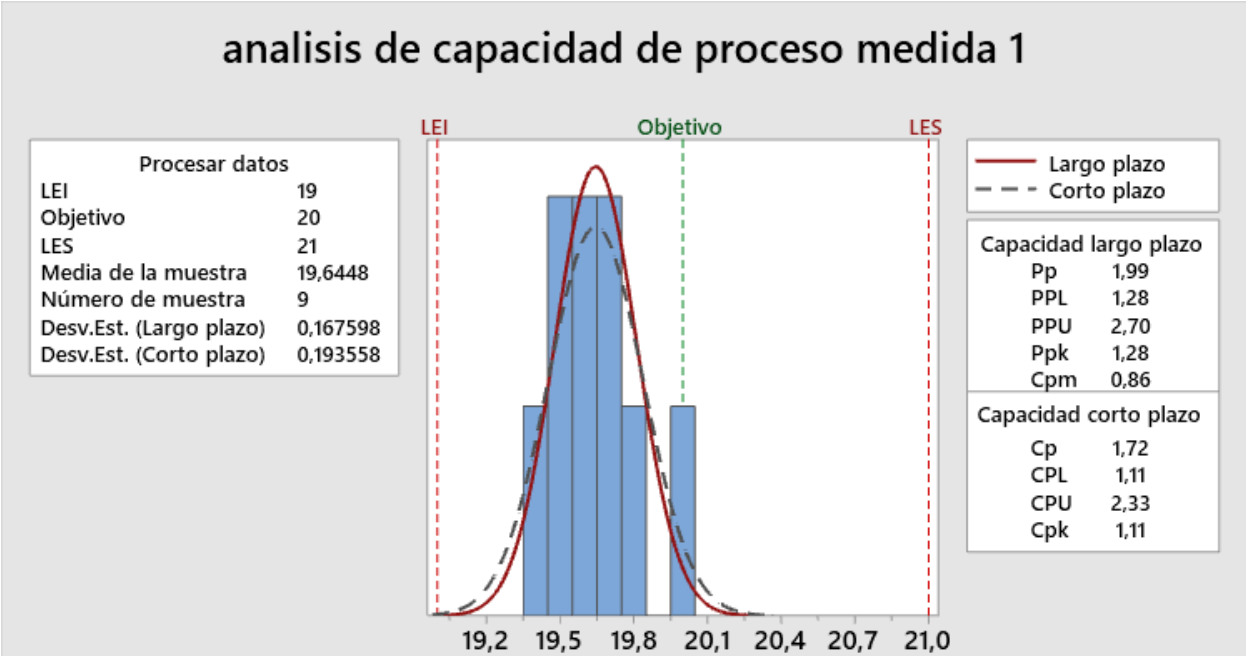


Grafica 18. Gráfica prueba de normalidad para la medida 6.

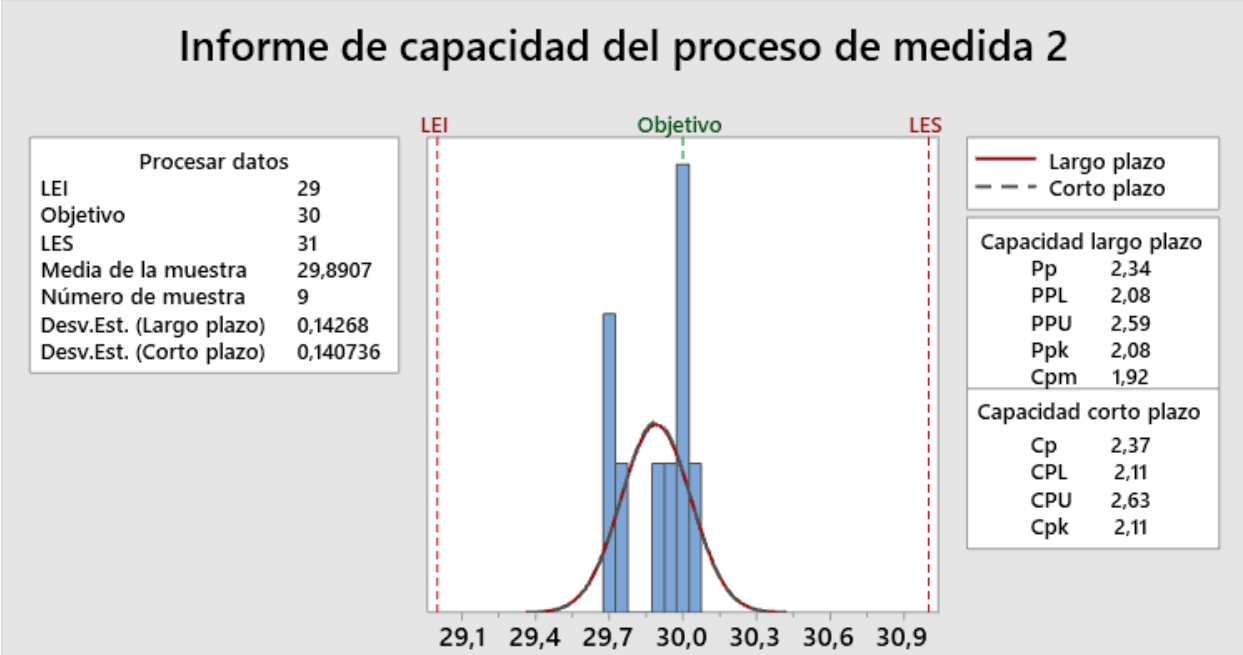
Como los valores de probabilidad que arrojó el programa son mayores al nivel de significancia, se pudo concluir que los datos presentan una distribución normal, facilitando en el estudio de capacidad de nuestro proceso.

5.2.3 capacidad del proceso.

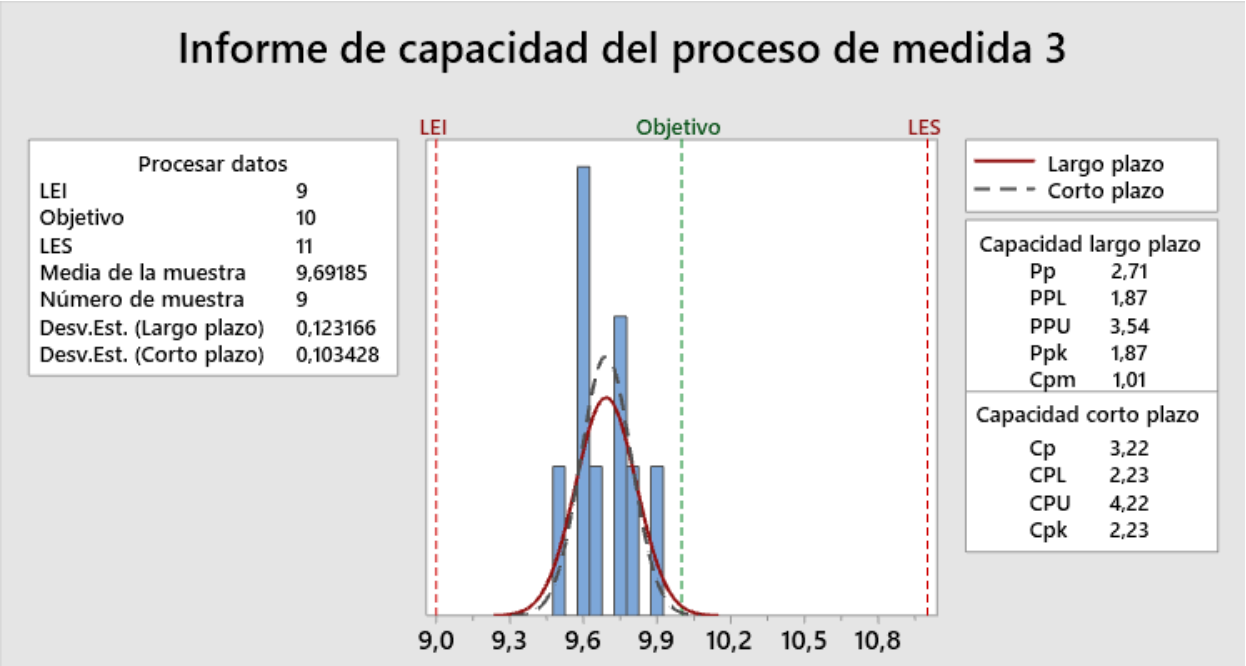
Obteniendo así las siguientes gráficas del análisis del proceso para las medias tomadas



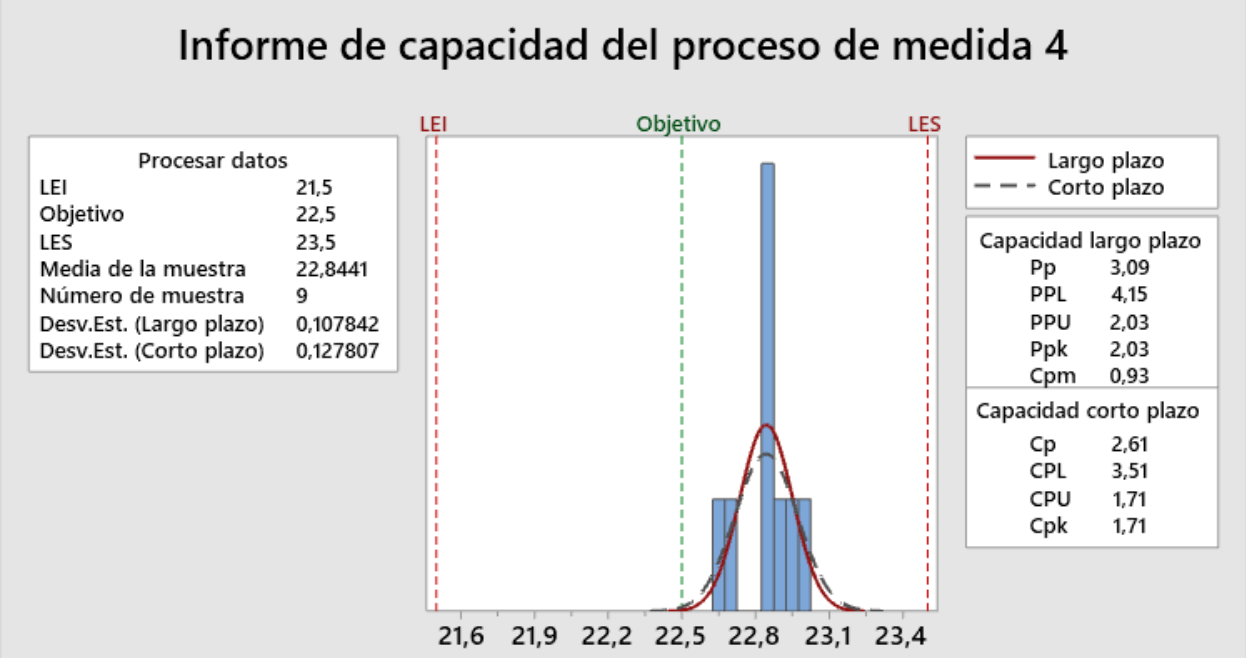
Grafica 19. análisis de capacidad para la medida 1



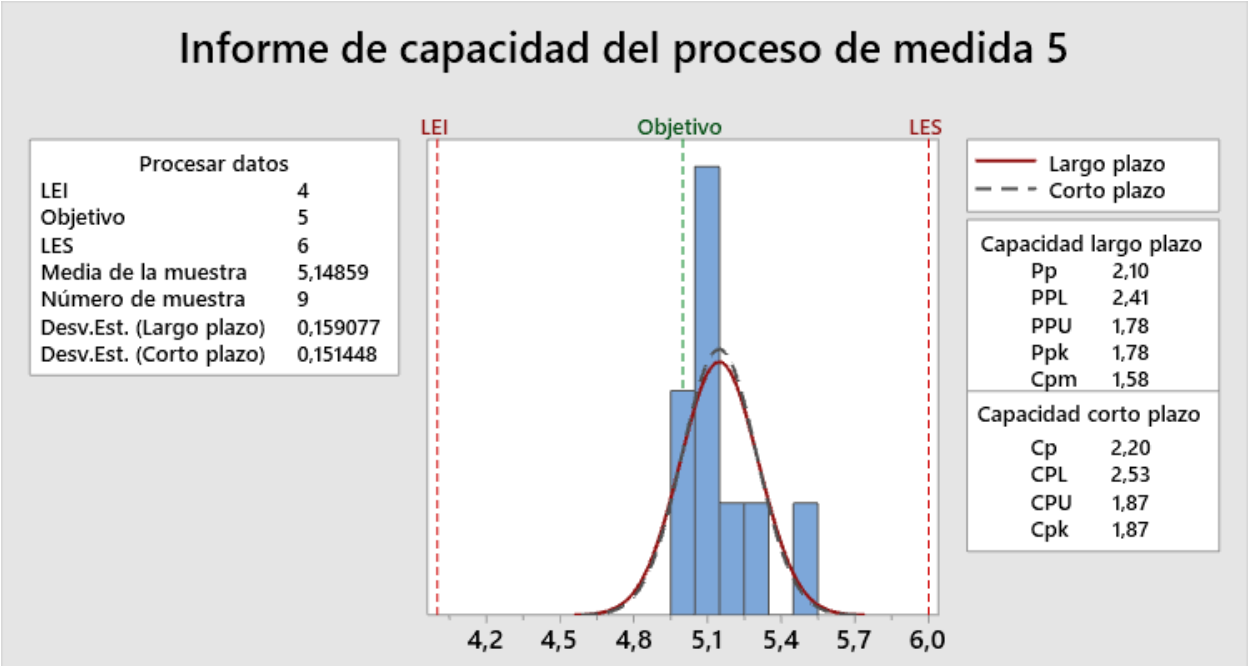
Grafica 20. análisis de capacidad para la mediada 2.



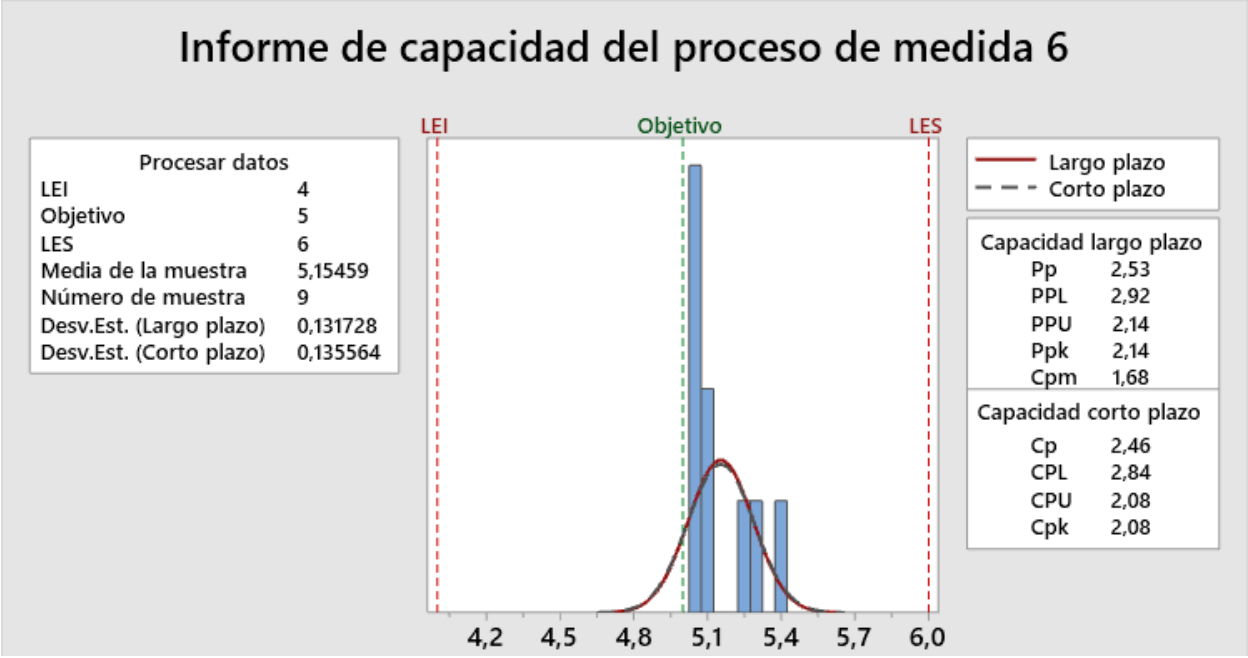
Grafica 21. Análisis de capacidad para la medida 3.



Grafica 22. Análisis de capacidad para la medida 4.



Grafica 23. Análisis de capacidad para la medida 5.



Grafica 24. Análisis de capacidad para la medida 6.

Para hacer el análisis de estas gráficas se describen los ítems que necesitamos evaluar:

- LEI = Valor mínimo de tolerancia
- Objetivo = Valor ideal
- LES = Valor máximo de tolerancia
- Pp = Capacidad potencial del proceso a largo plazo
- Ppk = Capacidad de real del proceso a largo plazo
- Cp = Capacidad potencial del proceso a corto plazo
- Cpk = Capacidad de real del proceso a corto plazo

Con estos ítems se pudo definir la capacidad general del proceso comparando los resultados de capacidades potencial y la capacidad real, de esta manera para que el proceso sea considerado capaz, es necesario que la variación real sea menor que la variación de la tolerancia establecida, es así que el índice Cp tiene que ser un valor mayor a 1, si no se llegase a cumplir dicha hipótesis el proceso no cumpliría con las especificaciones establecidas.

Para una mayor precisión en la interpretación de lo anterior mencionado en la tabla, se presentan cinco categorías de procesos que dependen del valor del índice Cp.

Tabla 32

tabla especificaciones del Cp		
Cp	clase de proceso	descripción
Cp>2	clase mundial	tiene calidad 6 sigma
1.33 < Cp < 2	1	más que adecuada
1 < Cp < 1.33	2	adecuado para el trabajo pero requiere de un control estricto conforme el Cp se acerca a 1
0.65 < Cp < 1	3	No adecuado para el trabajo un análisis de proceso es necesario, requiere modificaciones serias para alcanzar las especificaciones
Cp < 0.65	4	no adecuado .

Tabla 32. Descripción de los Cp para análisis capacidad del proceso.

Descripción de los Cp para análisis capacidad del proceso.

Autoría propia.

Según la tabla 33 el Cp debe ser mayor que 1.33, o que 1.50 si se quiere tener un proceso bueno, pero debe ser mayor o igual que dos si se quiere tener un proceso de clase mundial (calidad Seis Sigma).

Si el valor de Cpk es de cero o negativo se puede interpretar que la media del proceso está fuera de las especificaciones establecidas.

El Cpk siempre va a ser menor o igual que el Cp, si estos valores son demasiado próximos se indicaría que la media del proceso se encuentra muy cercana al punto medio de las especificaciones del proceso, siendo así las capacidades reales y potenciales similares. Si el valor de Cpk es más pequeño que el de Cp, quiere decir que la media del proceso se aleja al centro de las especificaciones, este desfase es proporcional a la diferencia entre Cpk y Cp.

Si el valor de Cpk tiende a ser mayor a 1,25 o 1,45 se concluye que la capacidad es satisfactoria, esto tanto para procesos nuevos o viejos de fabricación.

Para el Cpk podemos establecer que tan centrada está la campana con respecto a los límites, dependiendo del valor obtenido por el Cpk se puede interpretar con la tabla 33.

Tabla 33

tabla de especificaciones del Cpk	
Cpk	descripción
Cpk (-)	numero negativo, el proceso no cumple con las especificaciones
Cpk = 0	el proceso no cumple con las especificaciones
0 < Cpk < 1	el proceso está cerca a cumplir las especificaciones
Cpk > 1	el proceso es mejor que lo que exige las especificaciones

Tabla 33. Descripción de los Cpk para análisis capacidad del proceso.

Autoría propia.

Con los valores obtenidos para cada una de las medidas se encontraron variaciones de Cp y Cpk que interpretan las gráficas y además evalúan si el proceso está cumpliendo con las especificaciones de calidad establecidas, para este caso la especificación que presenta importancia es el margen de tolerancia establecido en el inicio de la producción de manufactura aditiva para la Ender 3, la

tabla 35 hace descripción de la capacidad del proceso para cada una de las medidas estudiadas. Tabla 34

Tolerancia de 1 mm					
medida	Cp	Cpk	clase de proceso	descripción de Cpk	análisis
1	1,72	1,11	más que adecuada	el proceso es mejor que lo que exige las especificaciones	la medida 1 cumple con las especificaciones establecidas, la media del proceso se encuentra muy cerca del punto medio del rango de tolerancia,
2	2,37	2,11	calidad 6 sigma	el proceso es mejor que lo que exige las especificaciones	la medida 2 cumple con las especificaciones establecidas, la media del proceso se encuentra muy cerca del punto medio del rango de tolerancia,
3	3,22	2,23	calidad 6 sigma	el proceso es mejor que lo que exige las especificaciones	la medida 3 cumple con las especificaciones establecidas, la media del proceso no se encuentra cerca del punto medio del rango de tolerancia, la distribución se encuentra trasladada hacia la izquierda.
4	2,61	1,71	calidad 6 sigma	el proceso es mejor que lo que exige las especificaciones	la medida 4 cumple con las especificaciones establecidas, la media del proceso no se encuentra muy cerca del punto medio del rango de tolerancia, la distribución se encuentra trasladada hacia la derecha.
5	2,2	1,87	calidad 6 sigma	el proceso es mejor que lo que exige las especificaciones	la medida 5 cumple con las especificaciones establecidas, la media del proceso se encuentra muy cerca del punto medio del rango de tolerancia,
6	2,46	2,08	calidad 6 sigma	el proceso es mejor que lo que exige las especificaciones	la medida 6 cumple con las especificaciones establecidas, la media del proceso se encuentra muy cerca del punto medio del rango de tolerancia,

Tabla 34. Análisis de capacidad de proceso

Autoría propia.

5.3 PROPIEDADES ADECUADAS

Haciendo una observación homogénea de los niveles de variación en el estudio, se logra establecer cuáles son los niveles más adecuados para cada una de las propiedades de la impresora, esto se hace con el objetivo de escoger el proceso con mayor exactitud y precisión frente a las cotas dimensionales ideales, los niveles más adecuados para mantener un desarrollo homogéneo de la dimensionalidad del elemento se observan en la tabla 35.

Tabla 35

	NIVELES DE MEJOR DESEMPEÑO DIMESIONAL			
	ALTURA DE CAPA	RELLENO (%)	VELOCIDAD DE IMPRESION (mm/s)	POSICION
NIVEL	2	2	2	3
PROPIEDAD	0.15	40% triángulo	50	3

Tabla 35. Niveles adecuados

Autoría propia.

Con esta corrida se realizaron las simulaciones en minitab con el objetivo de obtener los valores simulados de las cotas estudiadas en cada una de las geometrías establecidas para su respectivo mesurando. Además, se realizó una última impresión en la cual se definieron estas propiedades llegando a obtener el rango de afectación con cota real y la cota simulada en dicho proceso de manufactura aditiva, la toma de datos en esta impresión se realizó de la misma forma que las impresiones anteriores realizando 3 medidas consecutivas para cada cota establecida aumentado el alcance por medio de la repetibilidad y reproducibilidad del estudio, en tabla 37 se plasman los valores nominales, simulados y reales para esta última impresión en 3D.

Tabla 36

	propiedades de impresión				medidas tomadas					
medida	A	B	C	D	DATO 1	DATO 2	DATO 3	promedio	medida simulada	medida nominal
1	2	2	2	3	19,58	19,68	19,87	19,71	19,8788889	20
2	2	2	2	3	29,75	29,78	29,78	29,77	29,7	30
3	2	2	2	3	9,54	9,52	9,47	9,51	9,79556	10
4	2	2	2	3	22,7	22,87	22,75	22,7733333	22,7111111	22,5
5	2	2	2	3	5,17	5,2	5,19	5,18666667	5,27966667	5
6	2	2	2	3	5,23	5,25	5,26	5,24666667	5,30388889	5

Tabla 36. valores de medidas para impresión real, simulación por minitap, valor nominal.

Autoría propia.

Se pudo observar que el promedio de los datos tomados con las herramientas de medición, en esta última impresión son extremadamente idénticos a los valores que se simularon por medio de minitap, teniendo en algunas medidas el mismo valor como es el caso de las medidas 2 y 4, y los demás resultados de medición llegan a acercarse con una diferencia de 1 diezmilésima siendo resultados aproximadamente iguales con relación a la tolerancia establecida en el estudio dimensional, esto demuestra la precisión y exactitud de la simulación con los resultados reales de impresión, pero si tiene un alejamiento más notorio con los valores nominales establecidos por el programa de modelado en CAD.

Teniendo en cuenta las 3 medidas que se tomaron para las geometrías estudiadas en el elemento, se tomaron otras 7 medidas con la finalidad de realizar un análisis de capacidad de proceso para determinar en qué tipo de tolerancia se comienza a ver afectado la capacidad del proceso, comenzando con una tolerancia de 1 mm. Los diez datos tomados se pueden observar en la tabla 38 que se muestra a continuación.

Tabla 37.

	propiedades de impresión				medidas tomadas									
medida	A	B	C	D	DATO 1	DATO 2	DATO 3	DATO 4	DATO 5	DATO 6	DATO 7	DATO 8	DATO 9	DATO 10
1	2	2	2	3	19,58	19,68	19,87	19,6	19,78	19,65	19,68	19,59	19,65	19,87
2	2	2	2	3	29,75	29,78	29,78	29,75	29,76	29,78	29,75	29,75	29,74	29,7
3	2	2	2	3	9,54	9,52	9,47	9,55	9,58	9,6	9,55	9,52	9,47	9,5
4	2	2	2	3	22,7	22,77	22,75	22,72	22,8	22,75	22,75	22,7	22,68	22,72
5	2	2	2	3	5,17	5,2	5,19	5,18	5,17	5,16	5,17	5,18	5,19	5,16
6	2	2	2	3	5,23	5,25	5,26	5,23	5,23	5,25	5,23	5,21	5,2	5,23

Tabla 37. Datos por medida para la última impresión.

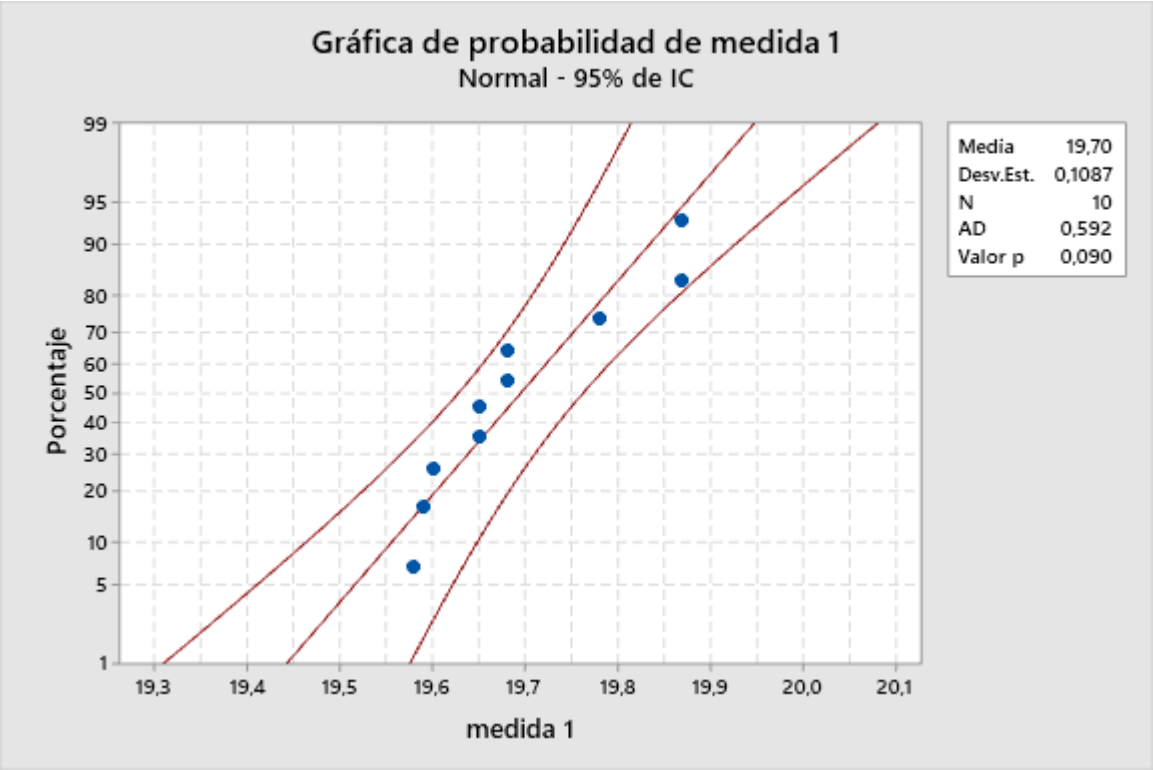
Autoría propia.

Tenido en cuenta que se mantuvieron tanto la hipótesis nula y la hipótesis alternativa de:

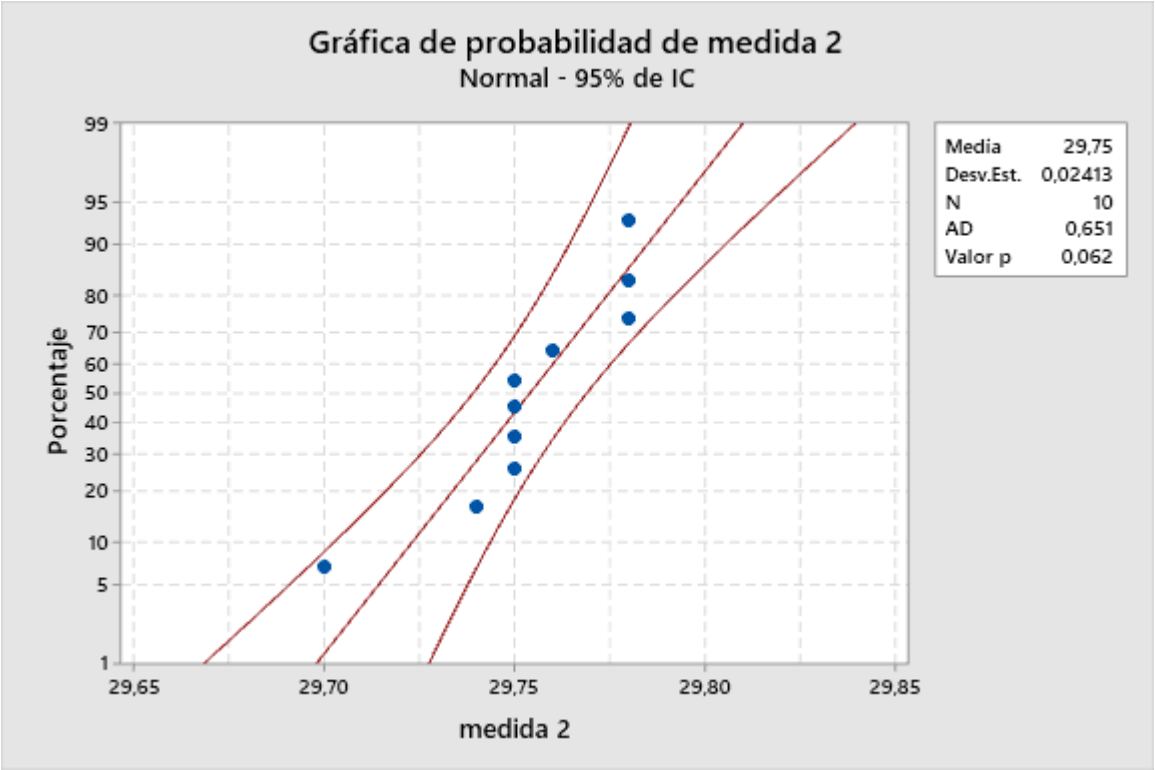
Hipótesis nula: H0 = Los datos se asemejan a una distribución normal.

Hipótesis alternativa: HI = Los datos no se asemejan a una distribución normal.

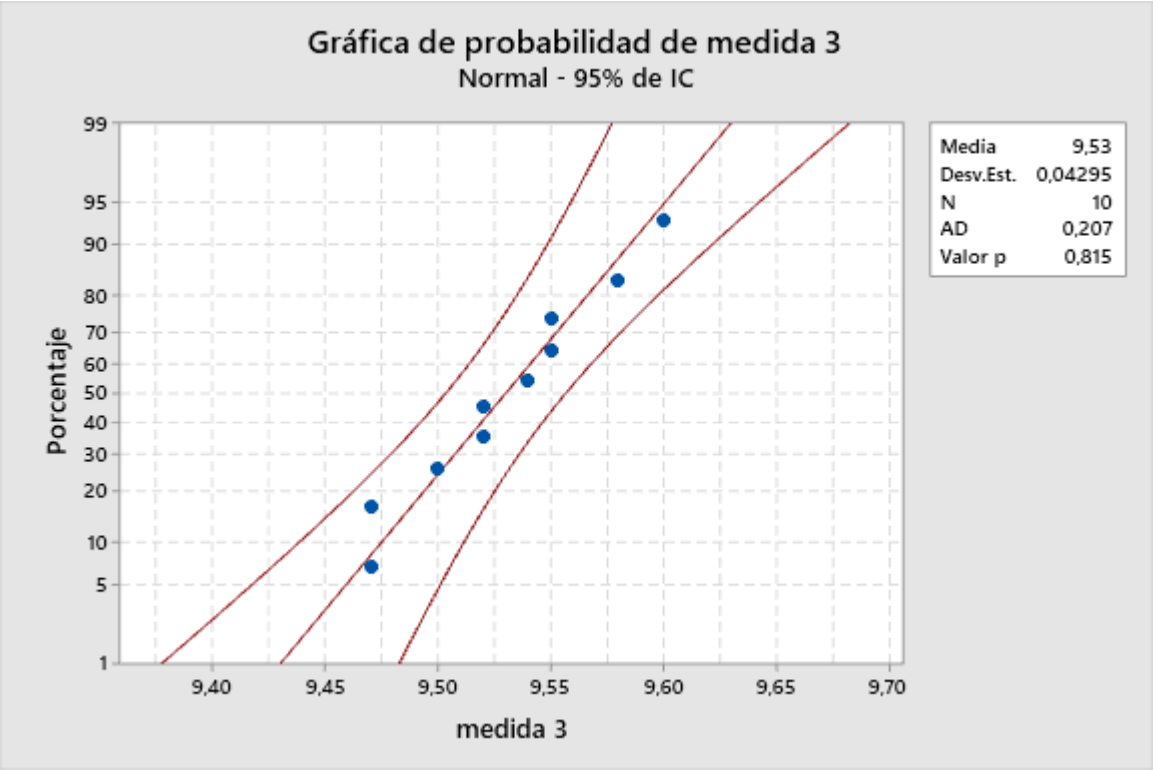
Y un nivel de significancia de (α) = 0,05 que equivale a un nivel de confianza de 95% el cual es alto, se obtuvieron las siguientes gráficas y valores de probabilidad,



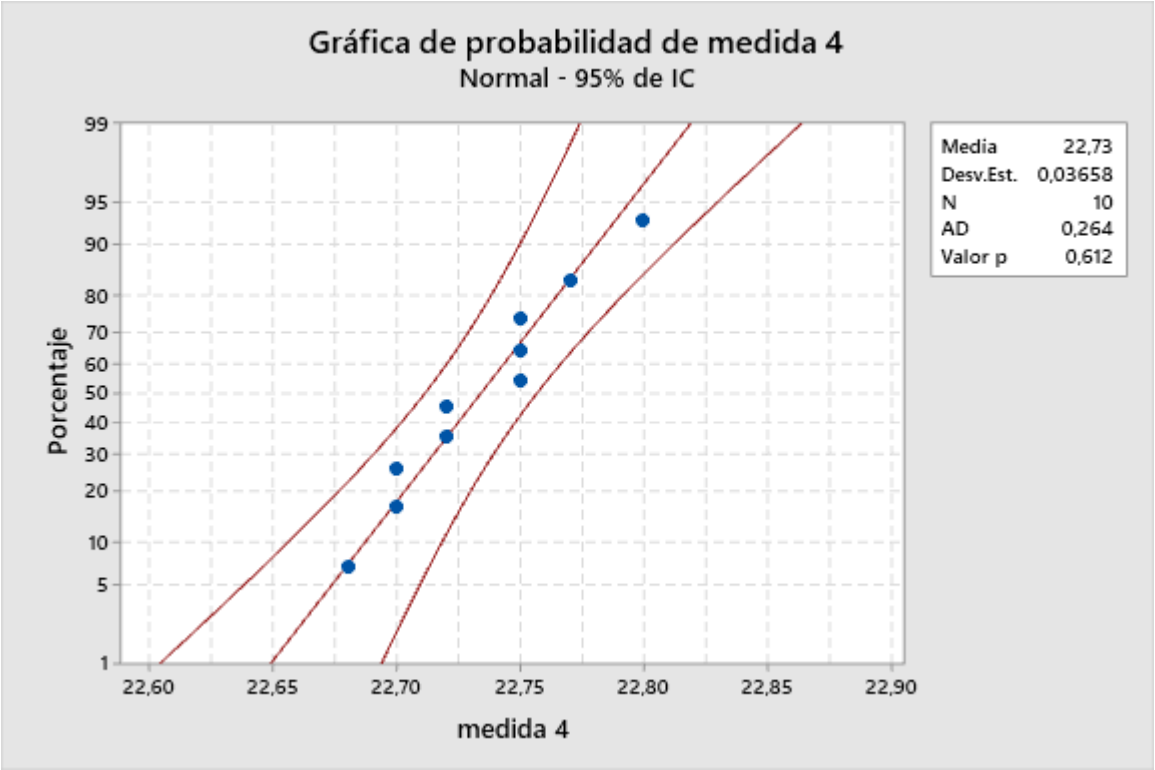
Grafica 25. Gráfica prueba de normalidad para la medida 1 impresión adecuada.



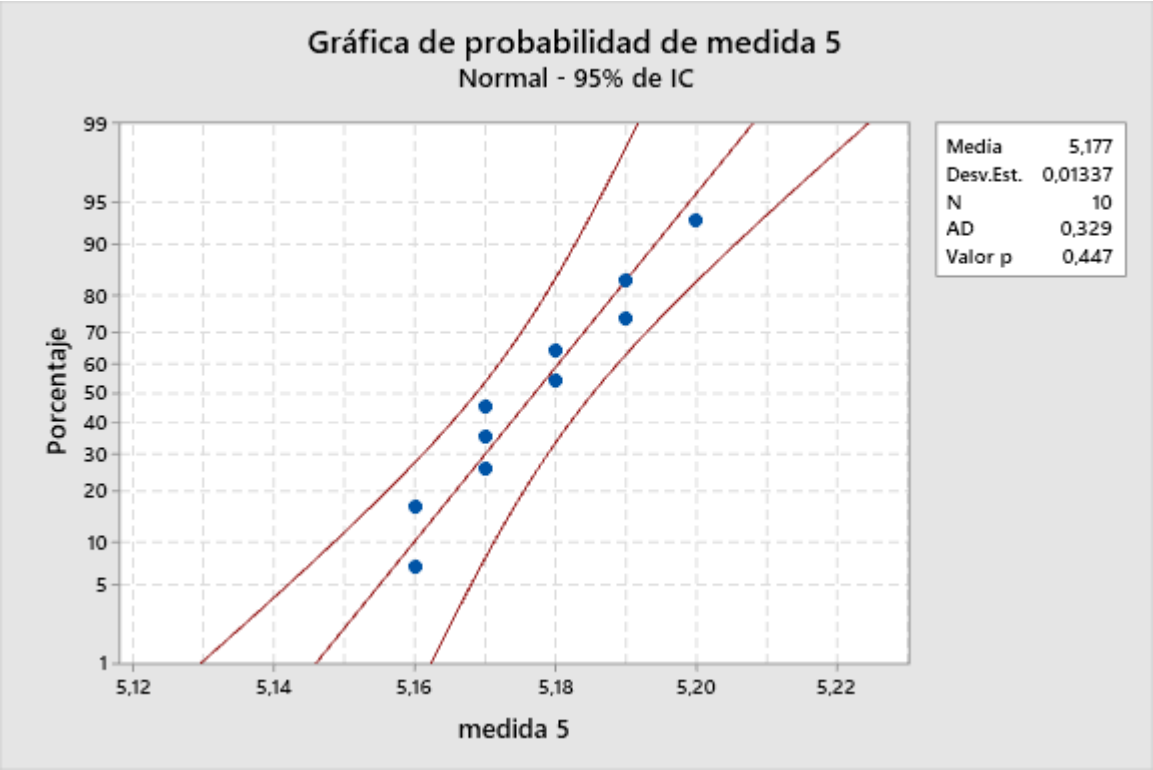
Grafica 26. Gráfica prueba de normalidad para la medida 2 impresión adecuada.



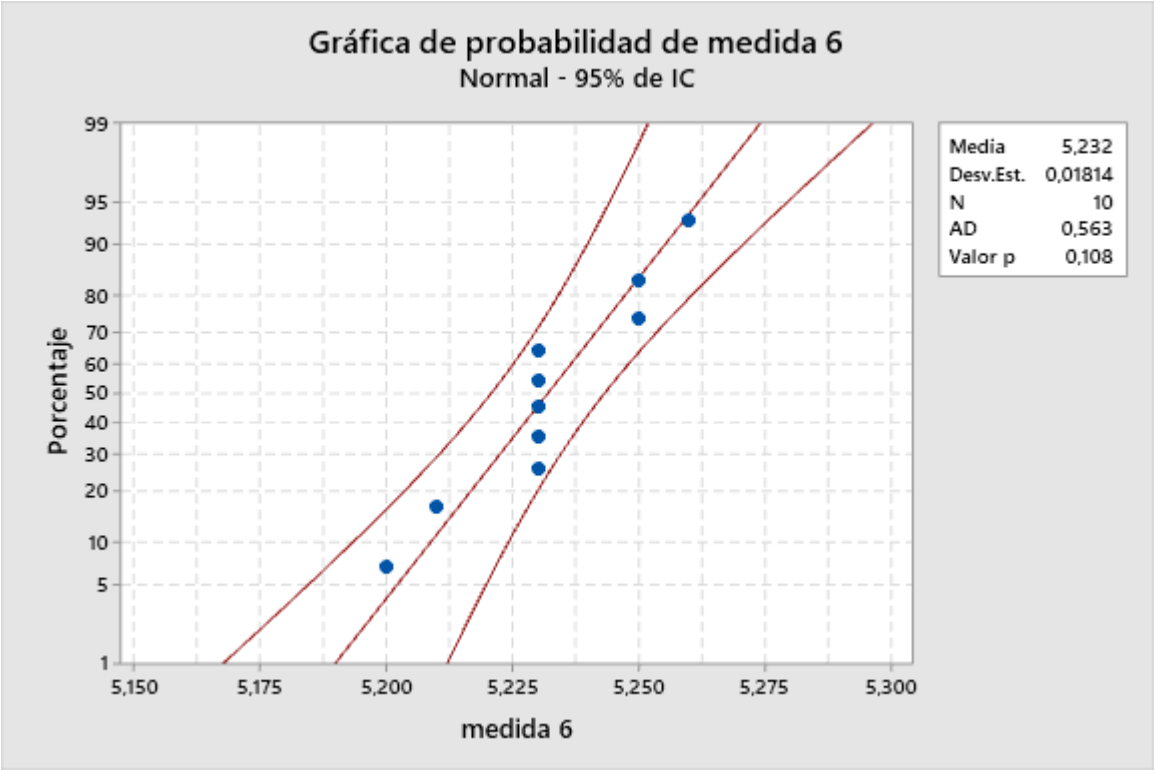
Grafica 27. Gráfica prueba de normalidad para la medida 3 impresión adecuada.



Grafica 28. Gráfica prueba de normalidad para la medida 4 impresión adecuada.



Grafica 29. Gráfica prueba de normalidad para la medida 5 impresión adecuada



Grafica 30. Gráfica prueba de normalidad para la medida 6 impresión adecuada.

Teniendo en cuenta que todas las medidas cumplen con normalidad se procedió a realizar el análisis de capacidad con una tolerancia de 1 mm, obteniendo la tabla 39 donde se describe la capacidad por medida.

Tolerancia de 1 mm para medidas ultima impresión					
medida	Cp	Cpk	clase de proceso	descripción de Cpk	análisis
1	1,33	0,52	más que adecuada	el proceso está cerca a cumplir las especificaciones	la medida 1 cumple con las especificaciones establecidas, la media del proceso no se encuentra cerca del punto medio del rango de tolerancia, la distribución se encuentra trasladada a la izquierda
2	9,95	5,06	calidad 6 sigma	el proceso es mejor que lo que exige las especificaciones	la medida 2 cumple con las especificaciones establecidas, la media del proceso no se encuentra cerca del punto medio del rango de tolerancia, la distribución se encuentra trasladada a la izquierda
3	4,7	0,28	calidad 6 sigma	el proceso está cerca a cumplir las especificaciones	la medida 3 cumple con las especificaciones establecidas, la media del proceso no se encuentra cerca del punto medio del rango de tolerancia, la distribución se encuentra trasladada a la izquierda
4	4,7	2,5	calidad 6 sigma	el proceso es mejor que lo que exige las especificaciones	la medida 4 cumple con las especificaciones establecidas, la media del proceso no se encuentra cerca del punto medio del rango de tolerancia, la distribución se encuentra trasladada a la derecha
5	13	8,41	calidad 6 sigma	el proceso es mejor que lo que exige las especificaciones	la medida 5 cumple con las especificaciones establecidas, la media del proceso no se encuentra cerca del punto medio del rango de tolerancia, la distribución se encuentra trasladada a la derecha
6	10,6	5,67	calidad 6 sigma	el proceso es mejor que lo que exige las especificaciones	la medida 6 cumple con las especificaciones establecidas, la media del proceso no se encuentra cerca del punto medio del rango de tolerancia, la distribución se encuentra trasladada a la derecha

Tabla 38. Análisis de capacidad de proceso para una tolerancia de 1 mm

Para el análisis de capacidad con una tolerancia de 0,4 mm, obteniendo la tabla 39 donde se describe la capacidad por medida.

Tabla 39.

Tolerancia de 0,4 mm para medidas ultima impresión					
medida	Cp	Cpk	clase de proceso	descripción de Cpk	análisis
1	0.53	-0,28	No es adecuada	el proceso no cumple con las especificaciones	la medida 1, no cumple con las especificaciones establecidas, además, la media del proceso está fuera de las especificaciones establecidas, la distribución se encuentra trasladada hacia la izquierda.
2	3,98	-0,92	calidad 6 sigma	el proceso no cumple con las especificaciones	la medida 2 no cumple con las especificaciones establecidas por Cp, pero la media del proceso está fuera de las especificaciones establecidas la distribución se encuentra trasladada hacia la izquierda.
3	1,88	2,54	calidad 6 sigma	el proceso es mejor que lo que exige las especificaciones	la medida 3 tiene una capacidad satisfactoria, y cumple con las especificaciones establecidas
4	1.88	-0,32	calidad 6 sigma	el proceso no cumple con las especificaciones	la medida 4 cumple las especificaciones establecidas por Cp pero la media del proceso está fuera del rango de tolerancia
5	5,21	0,6	calidad 6 sigma	el proceso está cerca a cumplir las especificaciones	la medida 5 cumple con las especificaciones establecidas, se encuentra dentro del rango de tolerancia, pero la distribución tiende hacia la derecha
6	4,23	-0,68	calidad 6 sigma	el proceso no cumple con las especificaciones	la medida 6 cumple las especificaciones establecidas por Cp pero la media del procesos esta fuera del rango de tolerancia

Tabla 39. Análisis de capacidad de proceso para una tolerancia de 0.4 mm

Autoría propia.

Se puede apreciar que la impresión que se desarrolló con las propiedades que alcanzan mayores resultados de dimensionalidad homogénea en el elemento, tiene capacidades de proceso adecuadas en un rango de tolerancia de 1 mm,

además se establecen dentro del rango de tolerancias previsto y presenta una leve distribución hacia la izquierda en las primeras 3 medidas y hacia la derecha en la medida restante.

Para el caso del Cp (capacidad potencial de proceso a corto plazo) se presentan valores mayores a 1,33 lo cual segunda la tabla 33 establecen una descripción más que adecuada para el proceso, o tiene calidad 6 sigma para los valores mayores a 2, es el caso de las cada una de las medidas exceptuando la medida número 1.

Realizando un análisis de los mismos datos, pero con una tolerancia de 0,4 mm se puede determinar que el proceso no presenta la capacidad necesaria con las especificaciones establecidas ya que las distribuciones de los datos no se encuentran dentro del rango deseado, las medidas presentan un Cp mayor al 1,33 pero su Cpk son menores o iguales a cero esto quiere decir que la distribución mantiene una precisión estable pero la exactitud no es pertinente con el rango de 0,4 mm.

5.4 TRABAJOS FUTUROS

Una vez culminado el proyecto, se hubiera podido realizar el mismo análisis de propiedades intercambiando cualquier propiedad por el material de desarrollo, esto se podría realizar con una máquina que pueda generar las impresiones con diferentes materiales y así analizar la contribución hacia las cotas de las diferentes impresiones. También, observar si los procesos de enfriamiento del elemento o acabados posteriores pueden mejorar o empeorar la exactitud y precisión de las cotas.

Teniendo la facilidad de utilidad de un escáner se podría alcanzar un menor rango de incertidumbre y adicional se estudiarían cotas derivadas que son las que se encuentran más afectadas por las propiedades de impresión y son factores importantes en la ensamblabilidad de los elementos impresos por la manufactura aditiva.

6. CONCLUSIONES

El método taguchy pudo simplificar de manera productiva el análisis de estudio de variables para los procesos de manufactura aditiva, estableciendo la matriz de corrida de propiedades que disminuye la cantidad de elementos impresos, manteniendo la interacción y variación de ruidos del proceso, además con el apoyo del programa minitab se puede definir el porcentaje de interacción de las propiedades estudiadas observando cuales afectan más en la dimensionalidad del elemento.

Las simulaciones que se pueden desarrollar por el programa minitab basándose en el método Taguchy, alcanzan resultados iguales o extremadamente cercanos con un error no mayor a 1 diezmilésima de la dimensión real impresa.

De las propiedades de impresión que se estudiaron la posición del elemento es la característica que presenta un mayor porcentaje de interacción hacia los resultados obtenidos, teniendo en la posición número 3, el nivel que alcanza mayor similitud entre valores ideales y reales de impresión en 3D, la característica que menos presenta interacción de ruido en el proceso es la altura de capa se enfoca en la capacidad de la máquina para imprimir filamentos a una distancia determinada los unos de los otros.

Todas las medidas se ven afectadas en un porcentaje muy alto por la propiedad de posición, pero las medidas derivadas además de verse afectada por esta propiedad también presentan dificultad para alcanzar los valores reales, debido a la propiedad de porcentaje de relleno y velocidad de impresión, teniendo valores de porcentaje de contribución de 55% ,16% ,25% respectivamente.

Al realizar los análisis de capacidad del proceso con una tolerancia igual a 1 mm se puede observar que el proceso de impresión con la máquina ender 3 es apto para las especificaciones dimensionales establecidas, esto se da con la comparación de resultados de Cp (Capacidad potencial del proceso) y Cpk (Capacidad de real del proceso), pero si se plantea una disminución de tolerancias de 0,4 mm el proceso no presenta la capacidad necesaria con las especificaciones establecidas ya que las distribuciones de los datos no se encuentran dentro del rango deseado, esto se da debido a que el Cpk son valores menores o iguales a cero. Esto quiere decir que la distribución mantiene una precisión estable pero la exactitud no es pertinente con el rango de tolerancia.

Según las propiedades de impresión estudiadas la configuración que mejor se adapta para mantener una dimensionalidad homogénea en las medidas tomadas en el proyecto son:

-Altura de capa=0,15

-Relleno y patrón de relleno= 40%, Triángulo

-Velocidad de impresión= 50 mm/s

-Posición=3

Bibliografía

Alvarez C, K. L., Lagos C, R. F., & Aizpun, M. (2016). Influencia del porcentaje de relleno en la resistencia mecánica en impresión 3D,. *Ingeniare*, 17-24.

Bernal Galván, S., Vázquez, T., & Rodolfo. (2001). CARACTERIZACIÓN DE UN PROCESO QUÍMICO MEDIANTE LA TÉCNICA DE TAGUCHI . *Conciencia Tecnológica*, 1-4.

C., L. (7 de Noviembre de 2019). *3Dnatives*. Obtenido de 3Dnatives: https://www.3dnatives.com/es/bioimpresion-futuro-medicina-180520172/#!

Escuela de Ingenierías Industriales. (2014). Obtenido de Escuela de Ingenierías Industriales: http://www.eis.uva.es/~biopolimeros/alberto/pla.htm

Gómez Reyes, L. (2017). ANÁLISIS DOCUMENTAL DE LOS. *3C Tecnología*, 48-53.

Impresoras3D.com. (1 de Enero de 2018). *Impresoras3D.com*. Obtenido de Impresoras3D.com: https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/

Kavanaugh, C. (2002). LOS DISEÑOS DE TAGUCHI CONTRA LOS DISEÑOS CLÁSICOS DE EXPERIMENTOS. *Conciencia Tecnológica*, 1-4.

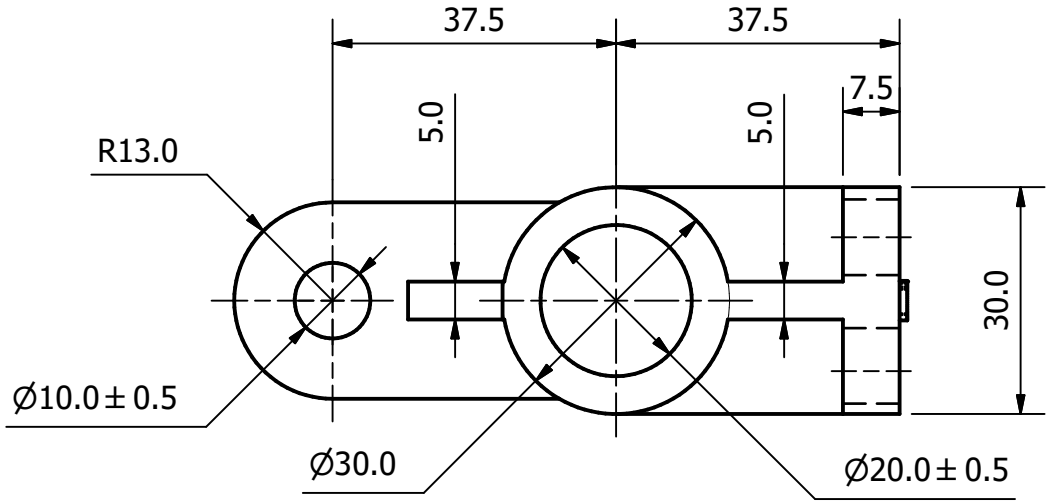
Martin, J. (19 de Julio de 2016). *motor pasión*. Obtenido de motor pasión: https://www.motorpasion.com/videos-de-coches/no-te-dejes-enganar-este-motor-subaru-no-es-real-es-una-replica-impresa-en-3d

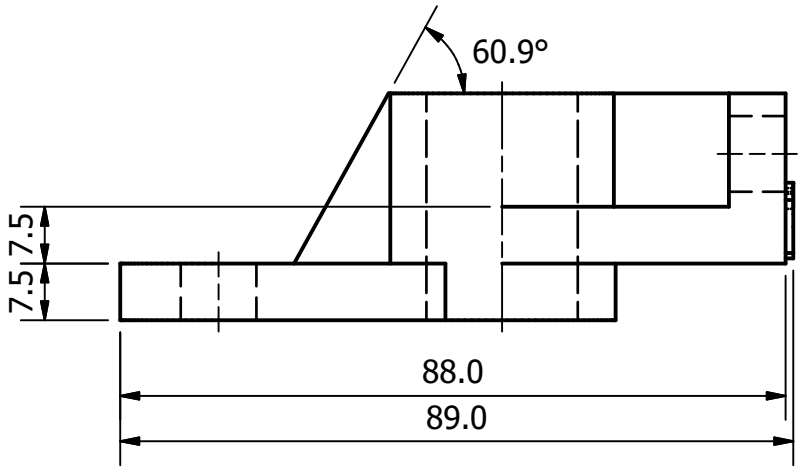
México, P. T. (SEPTIEMBRE de 2019). *Plastics Technology México*. Obtenido de Plastics Technology México: https://www.pt-mexico.com/cdn/cms/Las_7_familias_de_la_manufactura_aditiva.pdf

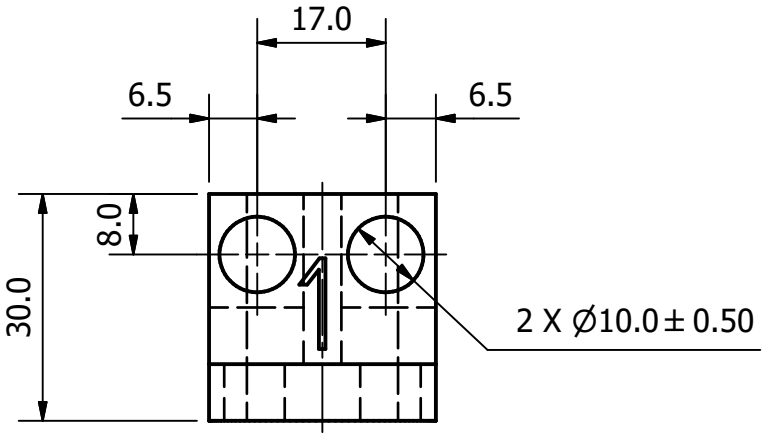
Taguchi, J. (2001). Acercamiento de Taguchi a la ingenieria de calidad. *Instituto Tecnológico de Aguascalientes*, 3-5.

Torreblanca Díaz, D. (2016). Tecnologías de Fabricación. *Iconofacto*, 118-143.

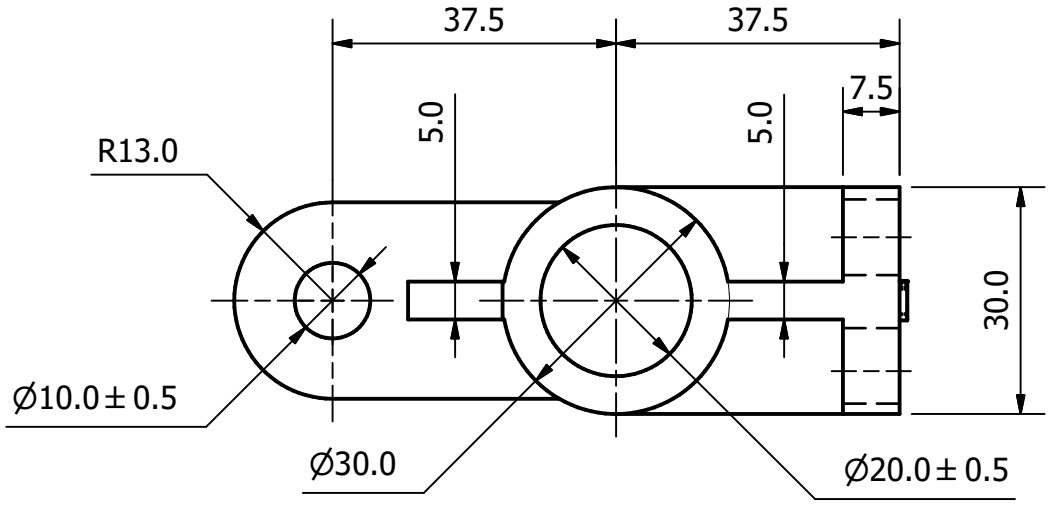
Yacuzzi, E., Martín, F., Quiñones, H. M., & Popovsky, M. J. (2004). EL DISEÑO EXPERIMENTAL Y LOS METODOS DE TAGUCHI: CONCEPTOS Y APLICACIONES EN LA INDUSTRIA FARMACEUTICA. *econstor*, 1-32.

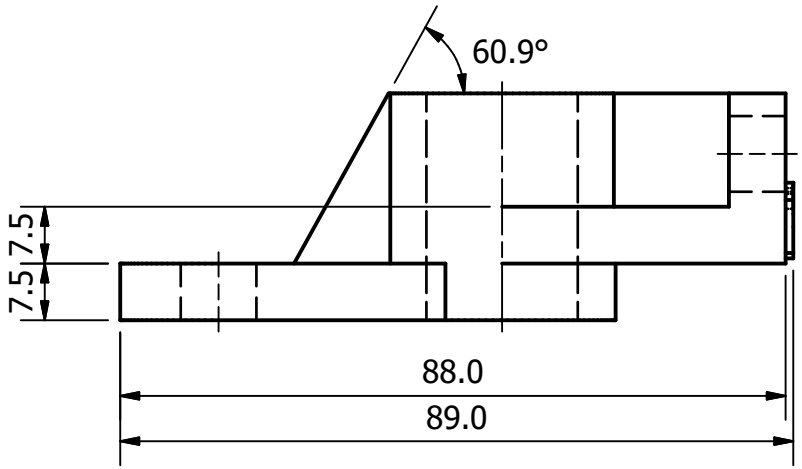


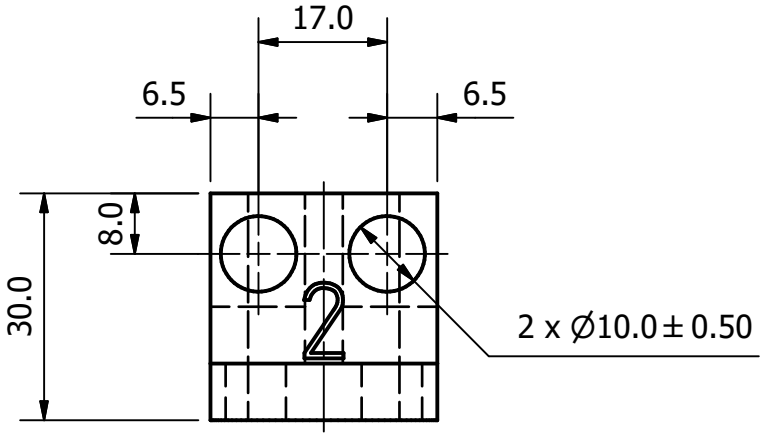




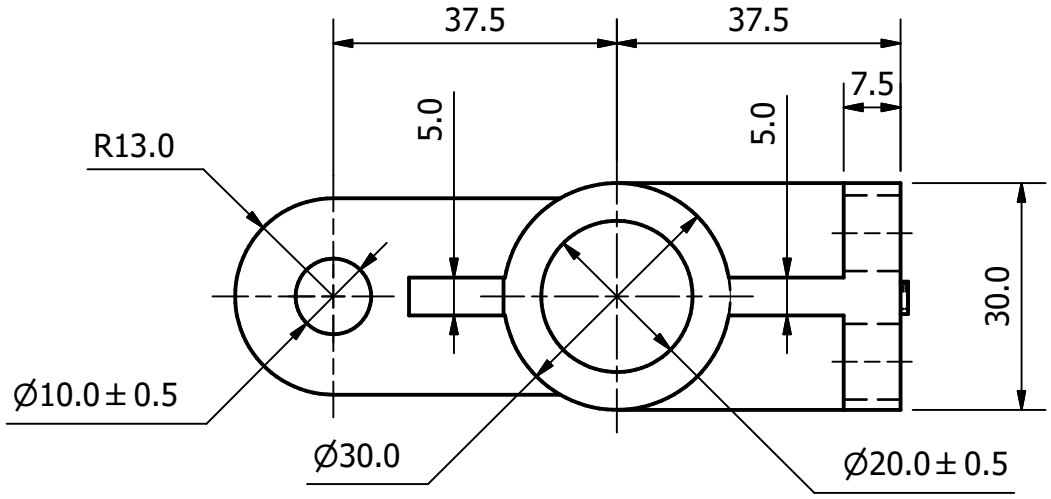
DIBUJÓ: Nicolás Fonseca	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS - FAC. TECNOLÓGICA DEPTO INGENIERÍA MECÁNICA
REVISÓ: Jairo Ernesto	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	
APROBÓ: Victor Ruiz	FECHA: 2020-08-10	FIRMA:	PROYECTO: N/A
SISTEMA:	FORMATO: A4	ESCALA: 1 : 1	PIEZA: SOPORTE PARA ASTA - 1 / CANTIDAD: 1
			MATERIAL: PLA / R/0 / PLANO N°: 1/10

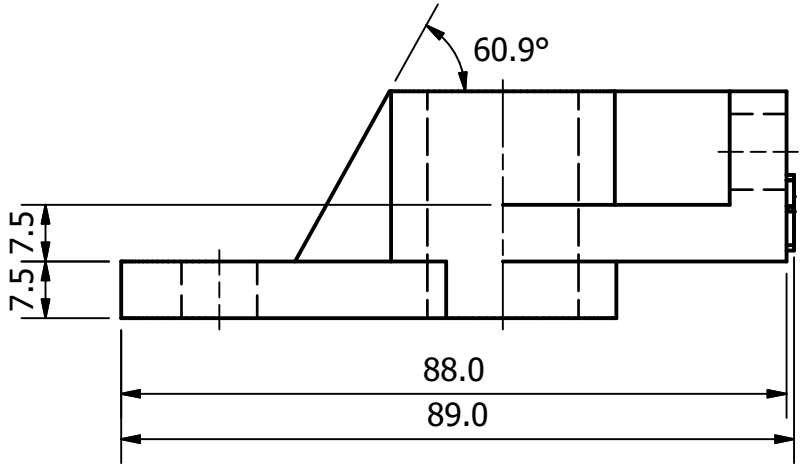


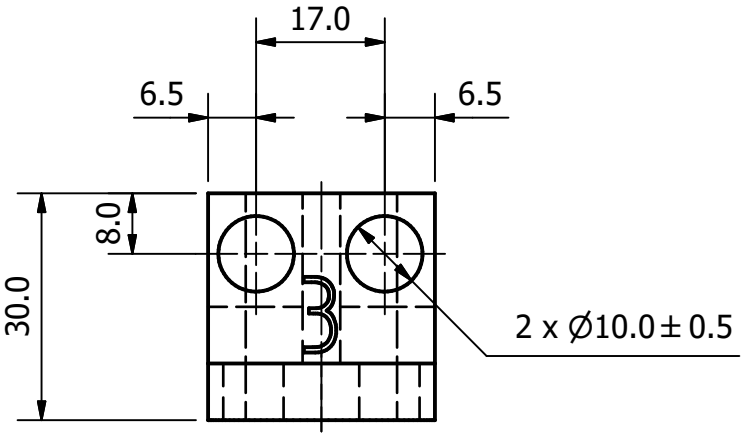




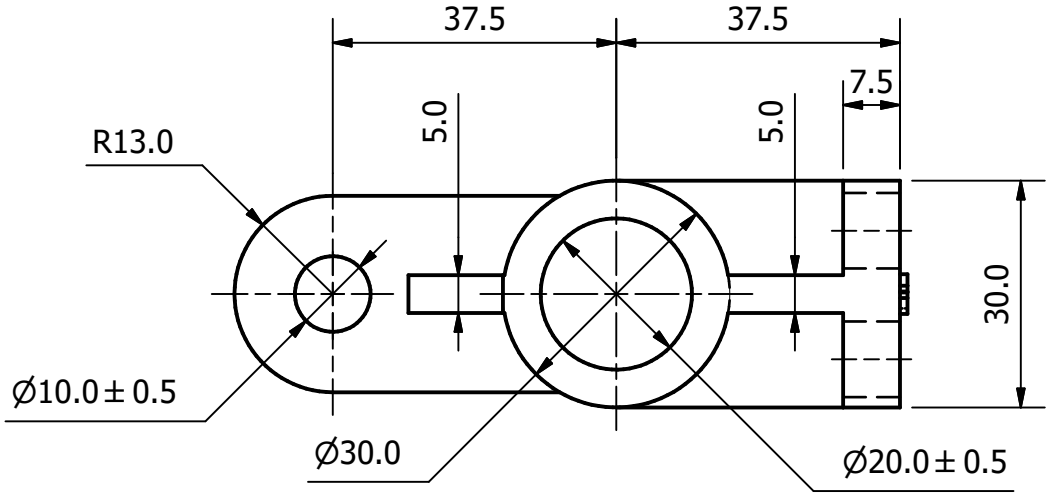
DIBUJÓ: Nicolás Fonseca	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS - FAC. TECNOLÓGICA DEPTO INGENIERÍA MECÁNICA
REVISÓ: Jairo Ernesto	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	
APROBÓ: Victor Ruiz	FECHA: 2020-08-10	FIRMA:	PROYECTO: N/A
SISTEMA:	FORMATO: A4	ESCALA: 1 : 1	PIEZA: SOPORTE PARA ASTA - 2 / CANTIDAD: 1
			MATERIAL: PLA / R/0 / PLANO N°: 2/10

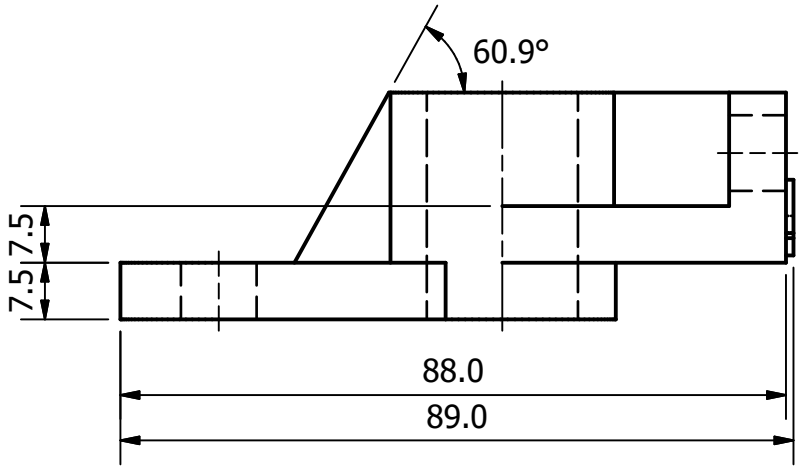


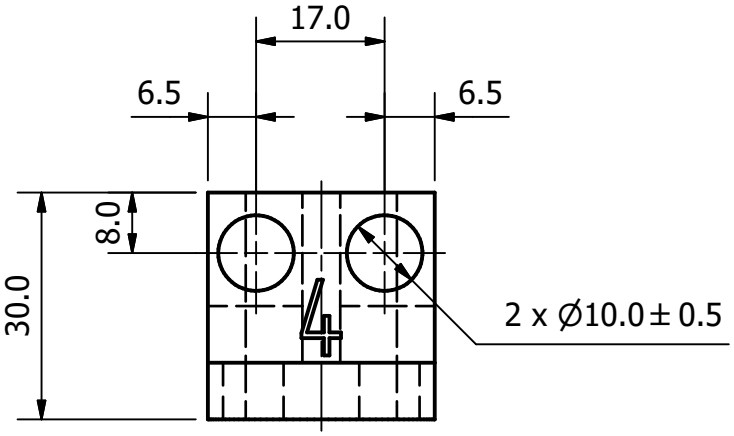


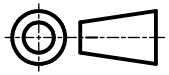


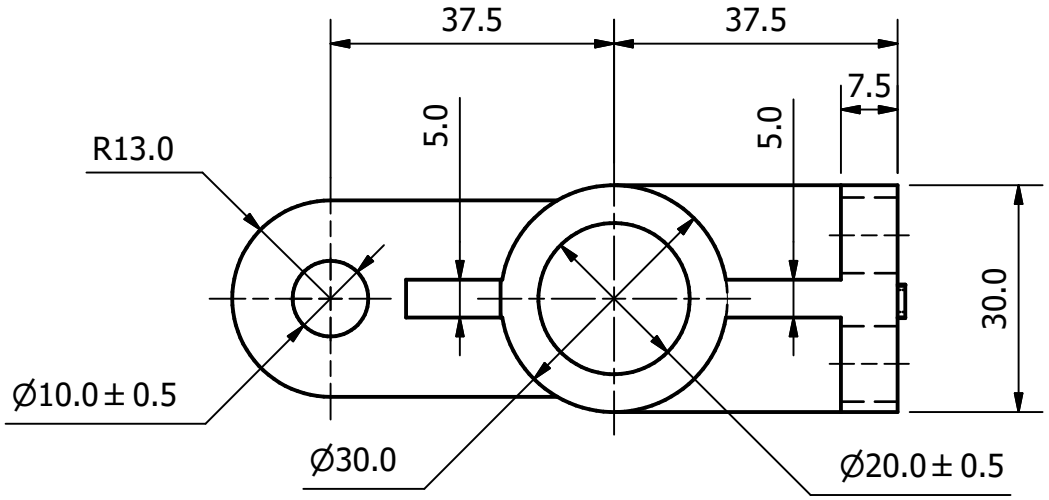
DIBUJÓ: Nicolás Fonseca	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS - FAC. TECNOLÓGICA DEPTO INGENIERÍA MECÁNICA
REVISÓ: Jairo Ernesto	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	
APROBÓ: Victor Ruiz	FECHA: 2020-08-10	FIRMA:	PROYECTO: N/A
SISTEMA:	FORMATO: A4	ESCALA: 1 : 1	PIEZA: SOPORTE PARA ASTA - 3 / CANTIDAD: 1
			MATERIAL: PLA / R/0 / PLANO N°: 3/10

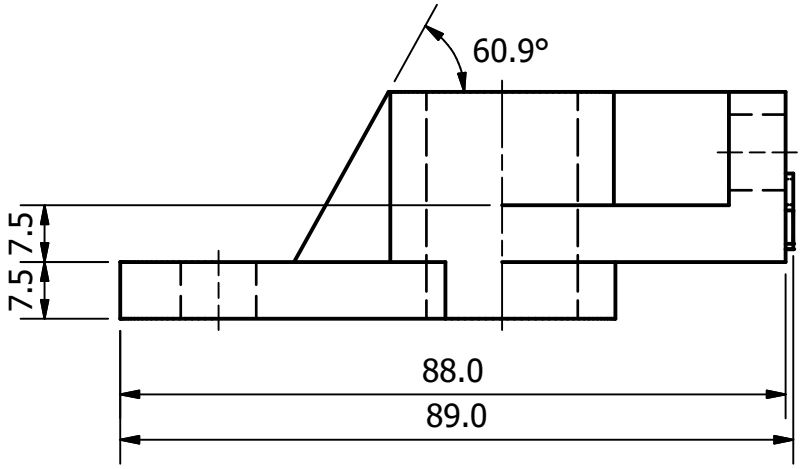


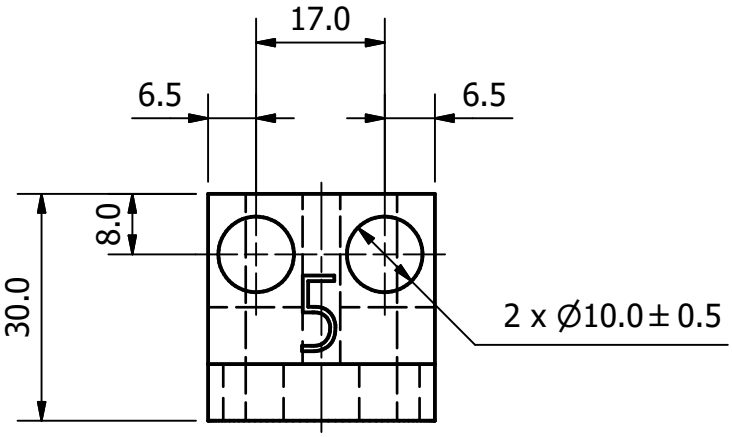




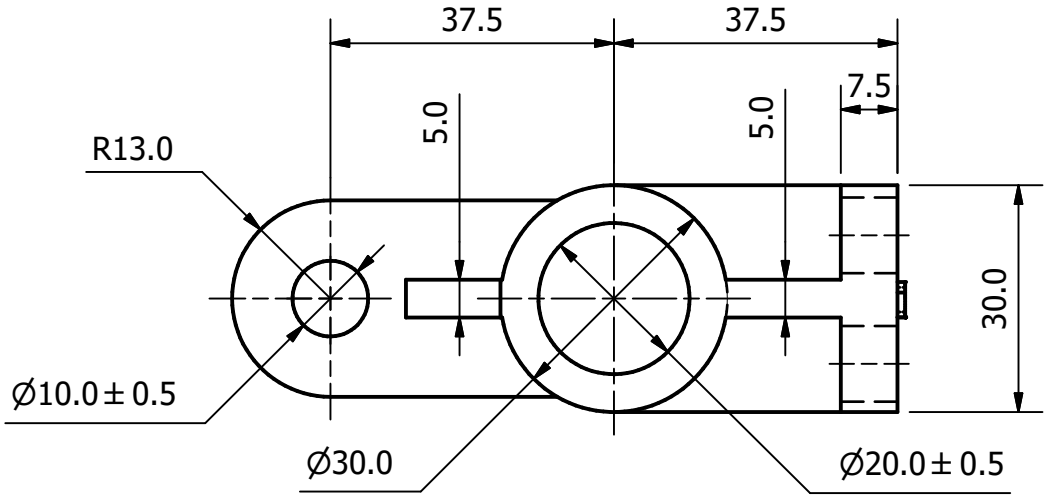
DIBUJÓ: Nicolás Fonseca	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS - FAC. TECNOLÓGICA DEPTO INGENIERÍA MECÁNICA
REVISÓ: Jairo Ernesto	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	
APROBÓ: Victor Ruiz	FECHA: 2020-08-10	FIRMA:	PROYECTO: N/A
SISTEMA: 	FORMATO: A4	ESCALA: 1 : 1	PIEZA: SOPORTE PARA ASTA - 4 / CANTIDAD: 1
			MATERIAL: PLA / R/0 / PLANO N°: 4/10

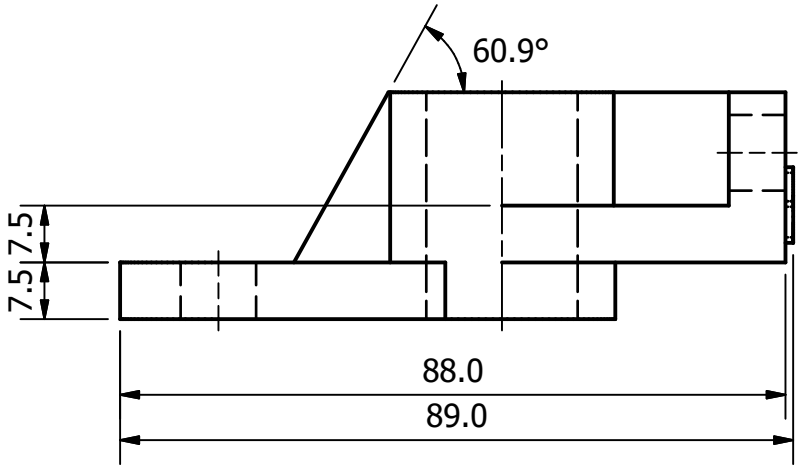


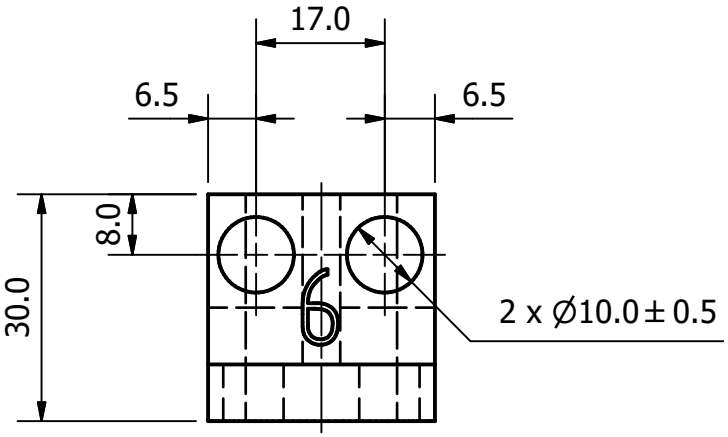


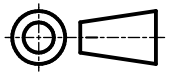


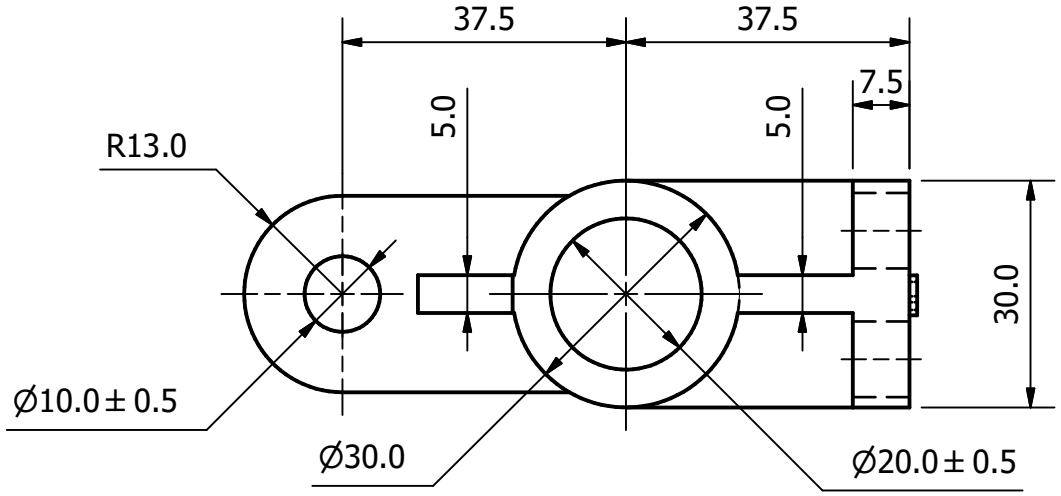
DIBUJÓ: Nicolás Fonseca	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS - FAC. TECNOLÓGICA DEPTO INGENIERÍA MECÁNICA
REVISÓ: Jairo Ernesto	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	
APROBÓ: Victor Ruiz	FECHA: 2020-08-10	FIRMA:	PROYECTO: N/A
SISTEMA:	FORMATO: A4	ESCALA: 1 : 1	PIEZA: SOPORTE PARA ASTA - 5 / CANTIDAD: 1
			MATERIAL: PLA / R/0 / PLANO N°: 5/10

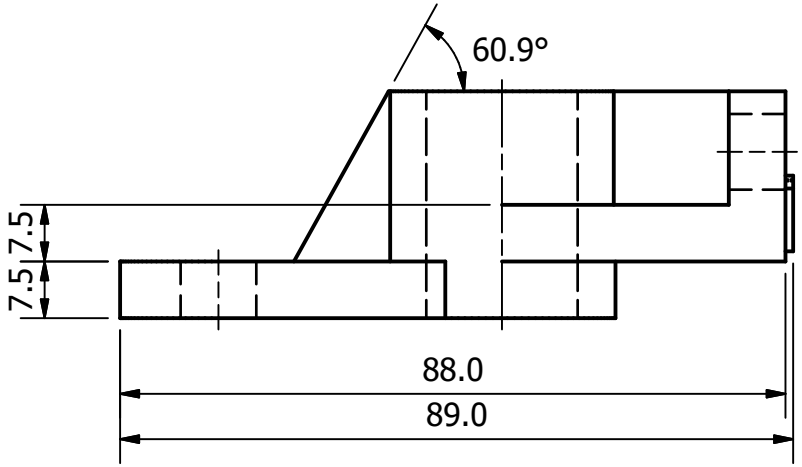


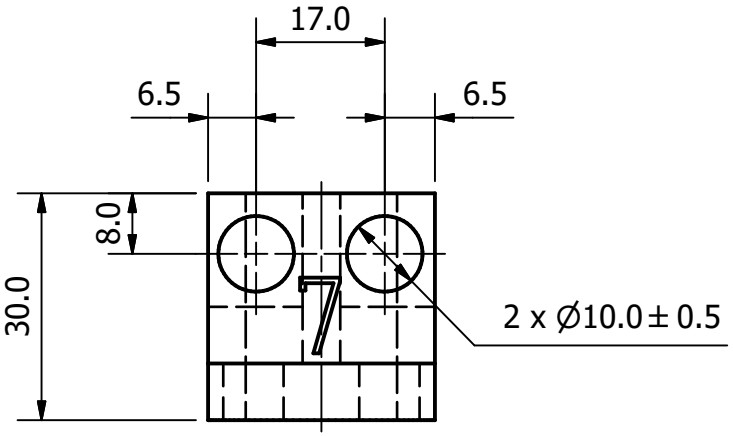




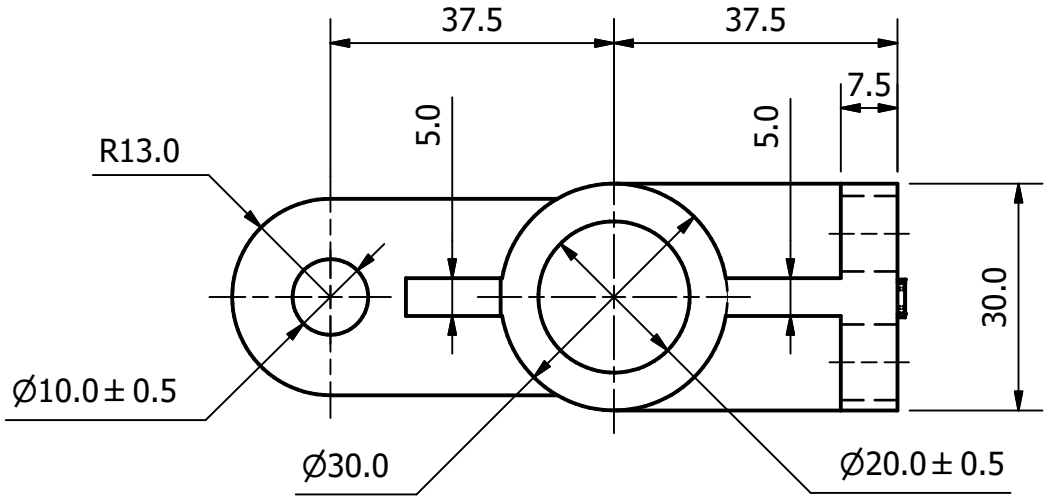
DIBUJÓ: Nicolás Fonseca	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS - FAC. TECNOLÓGICA DEPTO INGENIERÍA MECÁNICA
REVISÓ: Jairo Ernesto	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	
APROBÓ: Victor Ruiz	FECHA: 2020-08-10	FIRMA:	PROYECTO: N/A
SISTEMA: 	FORMATO: A4	ESCALA: 1 : 1	PIEZA: SOPORTE PARA ASTA - 6 / CANTIDAD: 1
			MATERIAL: PLA / R/0 / PLANO N°: 6/10

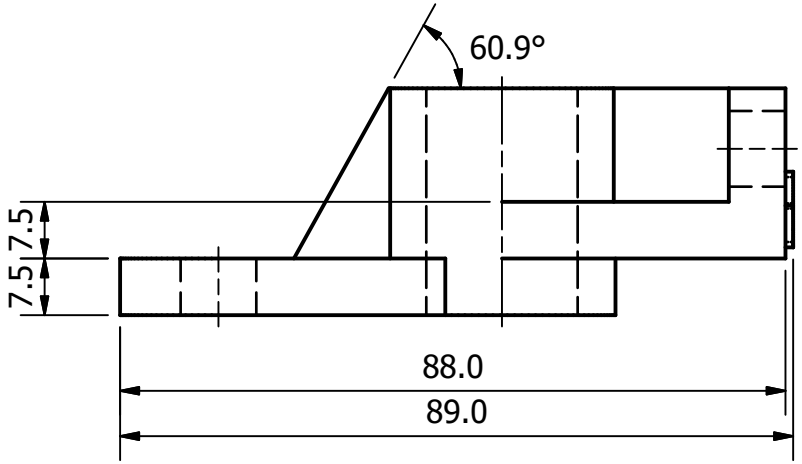


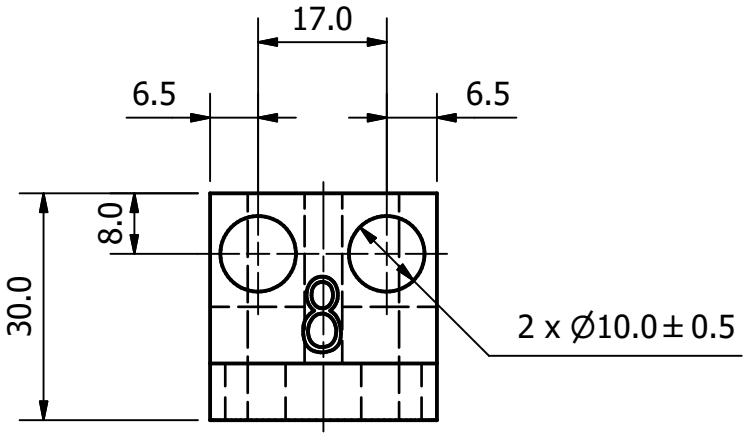




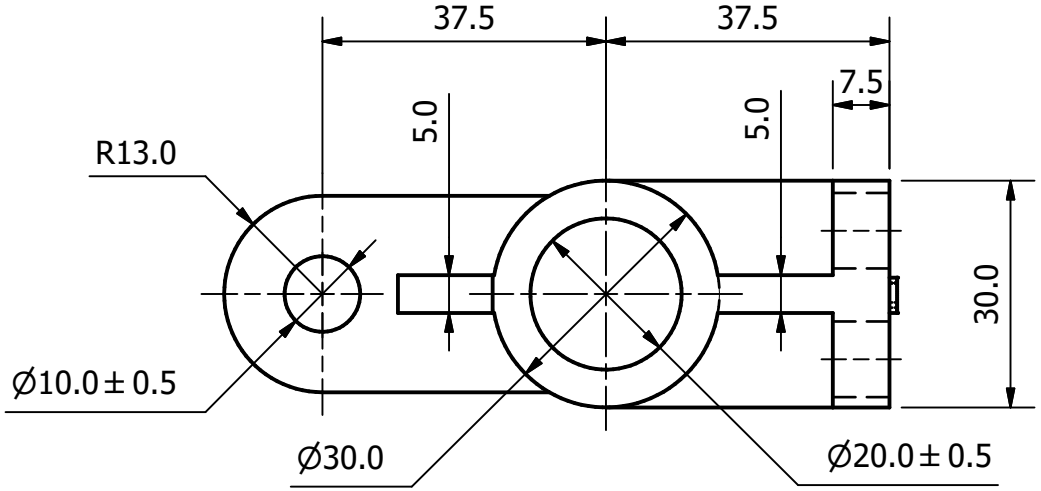
DIBUJÓ: Nicolás Fonseca	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS - FAC. TECNOLÓGICA DEPTO INGENIERÍA MECÁNICA
REVISÓ: Jairo Ernesto	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	
APROBÓ: Victor Ruiz	FECHA: 2020-08-10	FIRMA:	PROYECTO: N/A
SISTEMA:	FORMATO: A4	ESCALA: 1 : 1	PIEZA: SOPORTE PARA ASTA - 7 / CANTIDAD: 1
			MATERIAL: PLA / R/0 / PLANO N°: 7/10

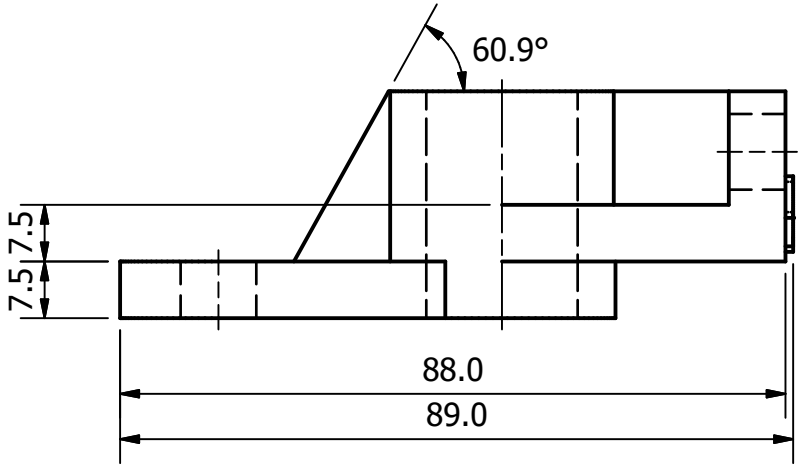


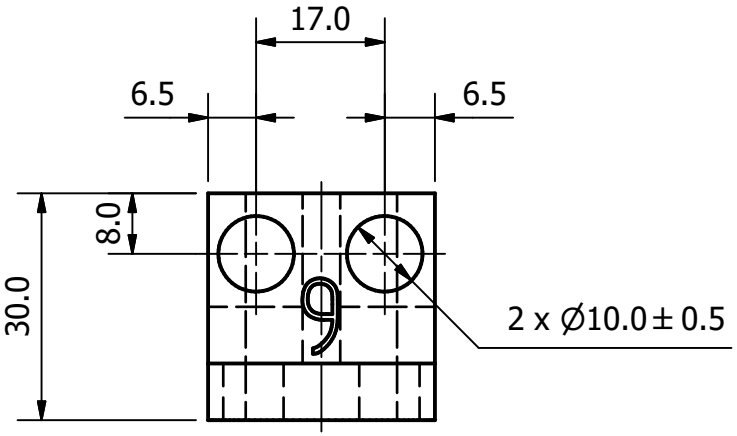




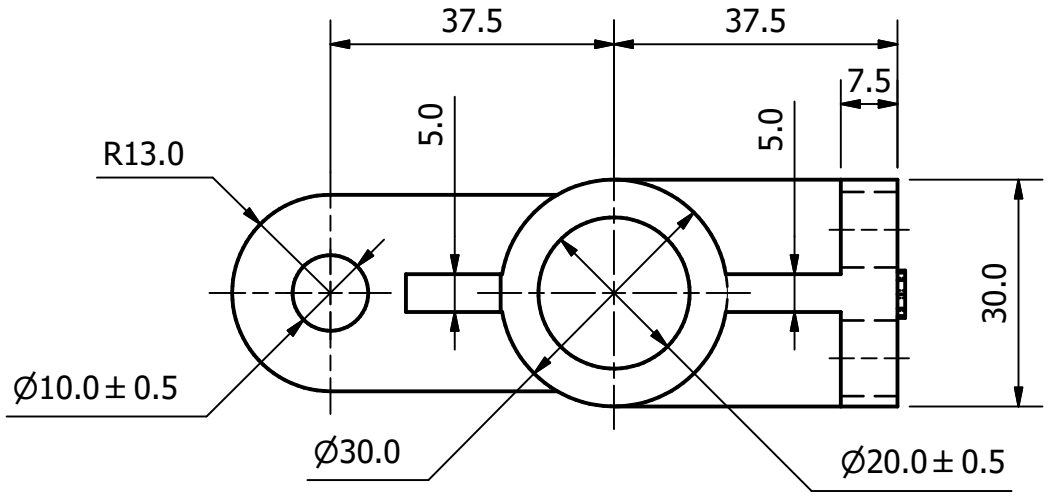
DIBUJÓ: Nicolás Fonseca	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS - FAC. TECNOLÓGICA DEPTO INGENIERÍA MECÁNICA
REVISÓ: Jairo Ernesto	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	
APROBÓ: Victor Ruiz	FECHA: 2020-08-10	FIRMA:	PROYECTO: N/A
SISTEMA:	FORMATO: A4	ESCALA: 1 : 1	PIEZA: SOPORTE PARA ASTA - 8 / CANTIDAD: 1
			MATERIAL: PLA / R/0 / PLANO N°: 8/10

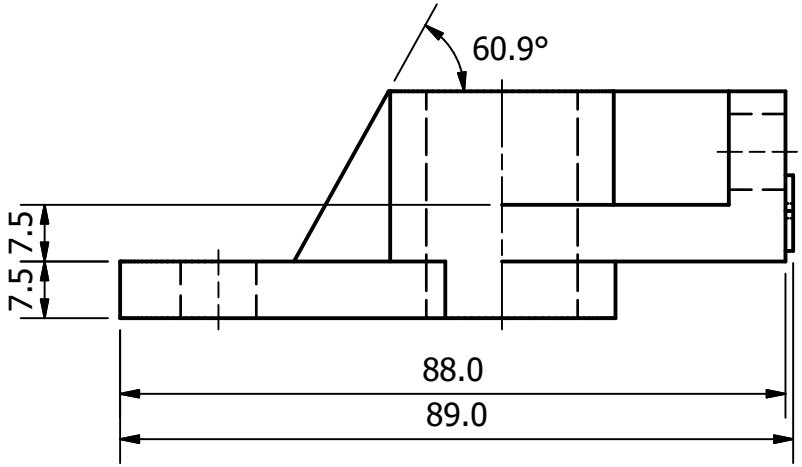


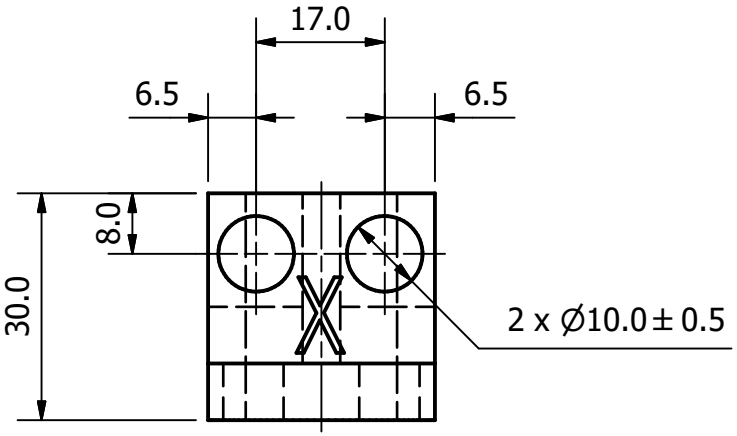




DIBUJÓ: Nicolás Fonseca	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS - FAC. TECNOLÓGICA DEPTO INGENIERÍA MECÁNICA
REVISÓ: Jairo Ernesto	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	
APROBÓ: Victor Ruiz	FECHA: 2020-08-10	FIRMA:	PROYECTO: N/A
SISTEMA:	FORMATO: A4	ESCALA: 1 : 1	PIEZA: SOPORTE PARA ASTA - 9 / CANTIDAD: 1
			MATERIAL: PLA / R/0 / PLANO N°: 9/10







DIBUJÓ: Nicolás Fonseca	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS - FAC. TECNOLÓGICA DEPTO INGENIERÍA MECÁNICA
REVISÓ: Jairo Ernesto	FECHA: 2020-07-27	FIRMA:	
APROBÓ: Victor Ruiz	FECHA: 2020-08-10	FIRMA:	PROYECTO: N/A
SISTEMA:	FORMATO: A4	ESCALA: 1 : 1	PIEZA: SOPORTE PARA ASTA - X MATERIAL: PLA
			CANTIDAD: 1 R/0 PLANO N°: 10/10