



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE PARA
REDUCIR EL TIEMPO DE CICLO DE MAQUINADO EN UNA LÍNEA
PRODUCTIVA DE PISTONES AUTOMOTRICES.**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO Y ELÉCTRICO**

**PRESENTA:
GERARDO DE JESÚS HERNÁNDEZ GÓMEZ**

**ASESOR:
M.C. VÍCTOR GALINDO LÓPEZ**

PUEBLA, PUE.

MAYO 2015

CARTA ACEPTACIÓN DE TEMA DE TESIS



Oficio No.S.AC. /15
ACEPTACIÓN TEMA TESIS

C. GERARDO DE JESÚS HERNÁNDEZ GÓMEZ
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
PRESENTE.

En atención a la autorización del Tema de Tesis que puso Usted a consideración de esta Facultad, se turnó la misma al :

M. en C. VICTOR GALINDO LÓPEZ
COORDINADOR DEL COLEGIO DE
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

Habiendo autorizado el tema denominado:

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE PARA REDUCIR EL TIEMPO DE CICLO DE MAQUINADO EN UNA LÍNEA PRODUCTIVA DE PISTONES AUTOMOTRICES”

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como Asesor Interno de esta tesis al **M. en C. VICTOR GALINDO LÓPEZ**.

Sin otro particular de momento, me es grato quedar de usted.

ATENTAMENTE
“PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR”
H. Puebla de Z., 17 de abril de 2015

M.I. EDGAR IRAMILLA GRAN ARROYO
DIRECTOR



C.c.p.- Mesa de Exámenes Profesionales

Asesor

Archivo

M'EIVA/M'AEPS*rba

Facultad
de Ingeniería

Btvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. 108 C, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

DEDICATORIA

A mis padres y mis abuelos.

"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica:
la voluntad"

— Albert Einstein.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, porque suponen los cimientos de mi desarrollo. Gracias por su esfuerzo y dedicación para permitirme cursar mis estudios y por brindarme aportes invaluableles que me servirán para toda mi vida.

A todos mis compañeros y amigos, estén donde estén y sin excepción, se merecen muchas y buenas palabras, ya que con ellos he compartido incontables horas de trabajo y buenos ratos.

A mis profesores, quienes son parte esencial en este logro y se los comparto, ya que ellos me compartieron su conocimiento y experiencia sin esperar nada a cambio. Especialmente agradezco al M.C. Víctor Galindo López, mi asesor de tesis, por su experiencia y orientación para ayudarme a culminar este último paso de mi carrera profesional.

ÍNDICE

	Pág.
CAPÍTULO I. PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN	13
1.1 Planteamiento del problema	13
1.2 Definición del problema	13
1.3 Justificación	14
1.4 Objetivos	15
1.6 Hipótesis	15
CAPÍTULO II – MARCO DE REFERENCIA	16
2.1 Información de la empresa	16
2.2 Marco Conceptual	17
2.3 Características de los Pistones	25
2.3.1 Materiales de los Pistones	27
2.3.2 Consideraciones de diseño para pistones de automóviles	28
CAPÍTULO III – MARCO TEÓRICO	30
3.1 Definición de Control Estadístico de Proceso	30
3.2 Variación	31
3.3 Causas de variación	31
3.4 Proceso estable	31
3.5 Curvas de distribución normal	32
3.6 Capacidad de un proceso (Cp)	33
3.6.1 Análisis de capacidad de un proceso	33
3.7 Partes por millón (PPM)	37
3.8 Six Sigma	37
3.9 Gráficas de control	38
3.9.1 Gráfica de rachas (Run chart)	39

CAPÍTULO IV – MARCO METODOLÓGICO	41
4.1 Diseño de la investigación	41
4.2 Tipo de Investigación	41
4.3 Alcance	42
4.4 Método	42
CAPÍTULO V. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE MANUFACTURA DEL PISTÓN 1.6 L	44
5.1 Descripción del proceso de producción de Pistón	44
5.2 Corte de Largo de Pistón (Maquinado de SPIGOT)	50
5.3 Tiempo de operación de la línea de manufactura	55
5.4 Capacidad y habilidad del proceso estudiado	56
5.4.1 Capacidad de proceso para “Diámetro de Spigot”	58
5.4.2 Capacidad de proceso para “Profundidad de Spigot”	59
5.4.3 Capacidad de proceso para “Diámetro extremo abierto”	60
5.4.4 Capacidad de proceso para “Paralelismo”	61
5.4.5 Capacidad de proceso para “Profundidad de Spigot”	62
5.4.6 Capacidad de proceso para “Radio de Spigot”	63
5.5 Tiempo de cambio de herramental (Change Over)	64
CAPÍTULO VI. DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE CORTE	67
6.1 Fundamentos del Maquinado	67
6.1.1 Principales movimientos en maquinado	67
6.2 Características la herramienta de corte	69
6.2.1 Condiciones para la nueva herramienta a diseñar	70
6.3 Cálculos para el diseño de la herramienta de corte	72
6.3.1 Velocidad de corte	74
6.3.2 Profundidad del corte (d)	76
6.3.3Tiempo de corte (t)	76
6.3.4 Avance (f)	77
6.4 Materiales de la herramienta de corte	77
6.4.1 Urgeles Diamant S.L.	78

6.4.2 Diamante y PCD	78
6.5 Cuerpo de la herramienta de corte	79
6.6 Plano de construcción de la herramienta	81
6.7 Modelo 3D de la herramienta	83
CAPÍTULO VII. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL HERRAMENTAL DISEÑADO	84
7.1 Capacidad de proceso para “Diámetro de Spigot” después de implementar la nueva herramienta de corte	86
7.2 Capacidad de proceso para “Profundidad de Spigot” después de implementar la nueva herramienta de corte	87
7.3 Capacidad de proceso para “Diámetro extremo abierto después de implementar la nueva herramienta de corte	88
7.4 Capacidad de proceso para “Paralelismo” después de implementar la nueva herramienta de corte	89
7.5 Capacidad de proceso para “Largo de pistón” después de implementar la nueva herramienta de corte	90
7.6 Capacidad de proceso para “Radio de Spigot” después de implementar la nueva herramienta de corte	91
7.7 Análisis de las características físicas del pistón	91
7.8 Análisis del tiempo de ciclo de maquinado	92
7.9 Análisis del tiempo de cambio de herramienta al final de su vida útil	93
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXOS	101

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Pistón de motor de gasolina	17
Figura 2. Árbol de levas del sistema Single Over Head Camshaft (SOHC)	19
Figura 3. Biela de motor de gasolina	20
Figura 4. Liner de motor de gasolina VW 1.6 L	21
Figura 5. Cigüeñal de motor de gasolina 4 cilindros	22
Figura 6. Cabeza de motor de gasolina 4 cilindros con sistema SOHC	23
Figura 7. Cáster de aceite de motor de gasolina 4 cilindros	24
Figura 8. Bloque de cilindros de motor de gasolina 5.7 L	25
Figura 9. Diagrama esfuerzo – deformación para aleaciones de aluminio	28
Figura 10. Curva normal de distribución	33
Figura 11. Ejemplo de histograma de frecuencias con Límites de especificación del producto (LSE y LIE)	34
Figura 12. Diferencia entre Cp y Cpk	36
Figura 13. Relación entre Cpk y PPM	37
Figura 14. Relación Cpk y Nivel Sigma	38
Figura 15. Gráfica de control típica	39
Figura 16. Gráfica de rachas típica	40
Figura 17. Principales partes del pistón.	44
Figura 18. Diagrama de flujo de proceso maquinado de pistón	48
Figura 19. Lay-out de la línea de manufactura del pistón a gasolina de 1.6 L	49
Figura 20. Plano de construcción del pistón	51
Figura 21. Tiempo de ciclo de la operación 2	56
Figura 22. Reporte para Diámetro de Spigot	58
Figura 23. Reporte para Profundidad de Spigot	59
Figura 24. Reporte para Diámetro interno de externo abierto de falda	60
Figura 25. Reporte Paralelismo de Spigot vs. Corona	61

Figura 26. Reporte Largo de Pistón	62
Figura 27. Reporte Radio de Spigot	63
Figura 28. Proceso preparación, ajuste y cambio de herramienta de corte	65
Figura 29. Diagrama de movimientos de maquinado	68
Figura 30. Diseño CAD de la herramienta de corte actual	69
Figura 31. Trayectoria de la herramienta de corte	69
Figura 32. Concepto de la herramienta de corte, se muestra su forma para cumplir con la especificación dimensional sin interpolación	71
Figura 33. Trayectoria de los insertos en la nueva herramienta por revolución	71
Figura 34. Principales parámetros de corte ortogonal	73
Figura 35. Placa de especificaciones dimensionales, de velocidad y de peso de la máquina de operación “Corte de largo de pistón y Maquinado de Spigot” Robodrill DDR260iB	75
Figura 36. Plano de dimensiones de pistón después del proceso de fundición	76
Figura 37. Comparación de estructuras.	79
Figura 38. Diagrama esfuerzo – deformación para el acero AISI 4140	81
Figura 39. Plano de la herramienta de corte diseñada	82
Figura 40. Modelo 3D de la herramienta de corte	83
Figura 41. Reporte para diámetro de Spigot aplicación herramienta	86
Figura 42. Reporte para profundidad de Spigot aplicación herramienta	87
Figura 43. Reporte para diámetro interno del extremo abierto de la falda aplicación herramienta	88
Figura 44. Reporte paralelismo de base de pistón a corona aplicación herramienta	89
Figura 45. Reporte para largo de pistón aplicación herramental	90
Figura 46. Tiempos de operación para el maquinado del pistón usando la Nueva herramienta de corte	93
Figura 47. Proceso de preparación, ajuste y cambio de la nueva herramienta	94

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Objetivos y actividades del proceso	43
Tabla 2. Explicación de las partes del pistón	46
Tabla 3. Matriz de características del pistón para gasolina 1.6 L	52
Tabla 4. Análisis Modo y Efecto de Fallas, de acuerdo a la norma ISO 16949	53
Tabla 5. Tiempos de ciclo de línea de manufactura del pistón	55
Tabla 6. Características de calidad para el control de maquinado de pistón 1.6 L en la operación 2	56
Tabla 7. Resumen de los índices CpK para el corte de pistón	64
Tabla 8. Tiempo de cambio de la herramienta de corte de la operación 2	66
Tabla 9. Desventajas de la herramienta usada hasta la fecha	70
Tabla 10. Regímenes recomendados para maquinado	74
Tabla 11. Propiedades del acero AISI 4140	80
Tabla 12. Resultados de las mediciones realizadas a los pistones con la herramienta diseñada	84
Tabla 13. Resumen de los resultados de las condiciones antes y después de la implementación del herramental diseñado	91
Tabla 14. Tiempos requeridos para el cambio de herramienta al final de su vida útil	94

INTRODUCCIÓN

En el presente documento se encuentra el diagnóstico de una parte del proceso de producción del pistón para motor a gasolina de 1.6L. De las condiciones encontradas se identificó un cuello de botella en la etapa de corte de la pieza, con un tiempo de operación de 20 segundos, de los cuales, 5 segundos el robot de carga y descarga permanece detenido esperando el fin del corte del proceso de corte del pistón. Del mismo diagnóstico se identificó que en el momento del cambio de la herramienta de corte de esta operación, los técnicos tardan 24.7 minutos.

Mediante el análisis de esta situación, se planteó inicialmente, el diseño de una nueva herramienta de corte, asegurando las condiciones de calidad del producto, manteniendo los estándares de control de proceso de la empresa encargada de la manufactura de los pistones. Para el diseño mecánico se utiliza software de dibujo CAD y modelo 3D.

A continuación, se realizó la fabricación de la herramienta de corte, y se instaló en la máquina. Seguido se esto, se realizó un lote de ensayo, haciendo análisis de las piezas generadas, encontrándose que en todos los ensayos para todas las propiedades analizadas, los parámetros eran superados ampliamente.

Como el problema inicial era el tiempo, se analizó nuevamente los tiempos de operación con la nueva herramienta de corte, encontrándose que se redujo el proceso a 16 segundos, 4 segundos menos que las condiciones iniciales. De la misma manera, se evaluó el tiempo que los operarios demoran en el cambio de herramienta, encontrándose que el tiempo requerido para el cambio de la pieza se redujo en 47.3% pasando de 24.7 minutos a solo 13 minutos.

CAPÍTULO I. Protocolo de Investigación

1.1 Planteamiento del problema

La gran inversión en instalaciones y maquinaria que se ha hecho en la planta de manufactura de pistones no se puede dejar en manos de procesos que no las rentabilicen. Las ganancias obtenidas se pueden incrementar si se logra aumentar la eficiencia de alguna línea productiva o uno de sus elementos que la conforman.

Algunos de los medios por los cuales se puede aumentar la eficiencia productiva son el aumento de la Capacidad de las máquinas, Reducción de Averías y Microparos (TPM), Orden y Limpieza, Reducción de Tiempos de Cambio de herramientas (SMED), Mejora de ciclos de Producción (Speed Up), Eliminación de Cuellos de Botella y el Estudio de nuevas implantaciones y maquinaria.

Por ello se requiere diseñar y fabricar una herramienta de corte que permita atacar uno o más de los recursos antes mencionados para mejorar la eficiencia de una operación de maquinado en una línea productiva.

1.2 Definición del problema

El diseño de una herramienta de corte adecuada para una operación de corte de una línea productiva, puede aumentar la eficiencia de la misma, reduciendo el tiempo de ciclo de la operación y el tiempo necesario para reemplazarla. Esto trae como consecuencia menos gastos en refacciones, insertos y un aumento en la Eficiencia Global de Equipos (OAE). Todo esto deriva en un incremento en el volumen de venta mensual de piezas producidas en dicha planta.

1.3 Justificación

La existencia de mercados saturados en los que la competencia es feroz, unida a las exigencias crecientes de los clientes, obliga a las empresas a mejorar continuamente sus procesos, productos y/o servicios. La mejora continua se convierte en una necesidad para la sostenibilidad de los negocios. Las empresas del ramo de la manufactura de autopartes, no están exentas de esta necesidad y hoy en día deben mejorar sus procesos, ya sea de manufactura como de servicios, para poder ser competitivos en el mercado actual. Es por esto que se les ha dado mayor importancia a la búsqueda incesante de cambios de diseño, cambios de ingeniería o en los recursos mismos que ayuden a obtener cambios positivos de manera constante.

En la producción automotriz, la calidad y la productividad de primer nivel y la mejora continua se fundan en requisitos imprescindibles. La ISO/TS 16949 norma a las empresas a implementar sistemas de mejora en la gestión de la calidad sólidos y efectivos, en relación con el diseño, desarrollo, producción, instalación y mantenimiento de todos los productos relacionados con la industria de la automoción [1]

La presente tesis es aplicada a una empresa de manufactura de pistones para motores de combustión interna, la cual está certificada por la norma ISO/TS 16949 y por ende es mandatorio incluir procesos de mejora en sus sistemas productivos; es por ello que surge la necesidad de buscar desde el punto de vista de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica, oportunidades de mejora en la cadena de suministro, a fin de lograr alguna o algunas de las siguientes ventajas:

- Mejorar la calidad de los productos y procesos, reduciendo los costos generales, los residuos, la variabilidad y los errores
- Mejorar la puntualidad de la producción
- Garantizar una consistencia total en toda la cadena de suministro.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar por métodos estadísticos, que la implementación de un nuevo diseño de herramienta para “Corte de largo de pistón y maquinado de Spigot”, reduce el tiempo de ciclo de dicha operación incluyendo el tiempo de cambio de la misma.

1.4.2 Objetivos específicos.

- a) Describir el proceso de manufactura del pistón y los elementos que lo forman.
- b) Diseñar una nueva herramienta de corte que cumpla con las especificaciones del cliente indicadas en el plano de construcción del pistón.
- c) Analizar la implementación de la nueva herramienta de corte en una corrida de prueba.
- d) Validar por métodos estadísticos, la estabilidad del proceso con la nueva herramienta así como la reducción de tiempo del ciclo de corte y del cambio de herramental.

1.5 Hipótesis

Mediante la implementación de una nueva herramienta de corte para la operación 2 (Corte de largo de pistón y maquinado de Spigot) dentro del proceso de fabricación de pistones se disminuye el tiempo de ciclo en esta operación (speed up) y se reduce el tiempo necesario para cambiarla al final de su vida útil (Change Over), manteniendo constantes parámetros dimensionales y de calidad.

CAPÍTULO II – MARCO DE REFERENCIA

2.1 Información de la empresa

La empresa dónde se efectúa el presente proyecto de tesis es un fabricante de pistones para motores. Clientes principales: General Motors, Ford, Nissan, Kawasaki, Caterpillar, Volvo, Polaris, etc.

Es una compañía innovadora líder a nivel mundial con un volumen anual de ventas de \$6.8 billones de dólares, que provee productos innovadores y de alta calidad a fabricantes de automóviles, vehículos comerciales y de servicio pesado así como a los sectores de energía, aeroespacial, marino, ferrocarrilero e industrial [2]

La empresa cuenta con dos segmentos de negocios, cada uno con su propio Director Ejecutivo que reporta a la Junta Directiva. El Segmento de Powertrain diseña y fabrica componentes de tren de potencia de equipo original, así como productos de protección de sistemas para aplicaciones automotrices, de servicio pesado, industrial y de transporte. El segmento de Soluciones de Componentes de Vehículos (Vehicle Component Solutions) vende y distribuye una amplia cartera de productos a través de 20 de las marcas más reconocidas del mercado global de posventa, a la vez que atiende a los fabricantes de vehículos (Equipo Original) con productos que incluyen componentes de sistemas de freno, de chasis, limpiaparabrisas y otros componentes de vehículos. [2]

Durante más de un siglo, esta empresa ha desarrollado productos innovadores que los clientes requieren para generar la siguiente generación de vehículos. La compañía a través de procesos de innovación y mejora continua así como programas globales de ingeniería y manufactura, contribuye a la reducción de emisiones y mejoramiento de la durabilidad de sus productos. [2]

La empresa es proveedor a nivel mundial para los principales fabricantes de vehículos, y cuenta con una amplia base de clientes del mercado de posventa.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Partes principales de un motor de combustión interna de gasolina

2.2.1.1 Pistón

Se denomina pistón a uno de los elementos básicos del motor de combustión interna. Se trata de un émbolo que se ajusta al interior de las paredes del cilindro mediante aros flexibles llamados segmentos o anillos. [6]

Efectúa un movimiento alternativo obligando al fluido que ocupa el cilindro a modificar su presión y volumen o transformando en movimiento el cambio de presión y volumen del fluido. A través de la articulación de biela y cigüeñal, su movimiento alternativo se transforma en rotativo.

Puede formar parte de bombas, compresores y motores. Se construye normalmente en aleación de aluminio. Los pistones de motores de combustión interna tienen que soportar grandes temperaturas y presiones, además de velocidades y aceleraciones muy altas. Debido a estos se escogen aleaciones que tengan un peso específico bajo para disminuir la energía cinética que se genera en los desplazamientos. También tienen que soportar los esfuerzos producidos por las velocidades y dilataciones. El material más elegido para la fabricación de pistones es el aluminio y suelen utilizarse aleantes como: cobre, silicio, magnesio y manganeso entre otros. [7]



Figura 1. Pistón de motor de gasolina.

2.2.1.2 Árbol de levas

Un árbol de levas es un mecanismo formado por un eje en el que se colocan distintas levas, que pueden tener distintas formas y tamaños y estar orientadas de diferente manera, para activar diferentes mecanismos a intervalos repetitivos, como por ejemplo unas válvulas, es decir, constituye un temporizador mecánico cíclico. [7]

En el motor de combustión interna alternativo, en los que se encarga de regular tanto la carrera de apertura y el cierre de las válvulas, como la duración de esta fase de apertura, permitiendo renovación de la carga en las fases de admisión y escape de gases en los cilindros. Se fabrican siempre mediante un proceso de forja, y luego suelen someterse a acabados superficiales como cementados, para endurecer la superficie del árbol, pero no su núcleo. [7]

Dependiendo de la colocación del árbol de levas y la distribución de estas, accionarán directamente las válvulas a través de una varilla, en el sistema SV (*Side Valves*), o lo harán mediante un sistema de varillas, taqués y balancines, es el sistema OHV (*Over Head Valve*). Posteriormente el árbol de levas ha pasado a la culata, es el llamado sistema *Single Over Head Camshaft* (SOHC). En el pasado, cuando los motores no eran tan fiables como hoy, esto resultaba problemático, pero en los modernos motores de 4 tiempos diésel o gasolina, el sistema de levas "elevado", donde el árbol de levas está en la culata, es lo más común. Algunos motores usan un árbol de levas para las válvulas de admisión y otro para las de escape; esto es conocido como *Dual Over Head Ccamshaft* o doble árbol de levas a la cabeza (DOHC). Así los motores en V pueden tener 4 árboles de levas. El sistema DOHC permite entre otras cosas montar 2 válvulas de escape y 2 de admisión. [7]



Figura 2. Árbol de levas del sistema *Single Over Head Camshaft* (SOHC).

2.2.1.3 Biela

Se denomina biela a un elemento mecánico que sometido a esfuerzos de tracción o compresión, transmite el movimiento articulando a otras partes de la máquina. En un motor de combustión interna conectan el pistón al cigüeñal. Actualmente las bielas son un elemento básico en los motores de combustión interna y en los compresores alternativos. Se diseñan con una forma específica para conectarse entre las dos piezas, el pistón y el cigüeñal. [8]

El material del que están hechas es de una aleación de acero, titanio o aluminio. En la industria automotor todas son producidas por forjamiento, pero algunos fabricantes de piezas las hacen mediante maquinado. [8]

- Partes de la biela: Se pueden distinguir tres partes en una biela. La parte trasera de biela en el eje del pistón, es la parte con el barrenado de menor diámetro, y en la que se introduce el casquillo a presión, en él que luego se inserta el perno, un cilindro o tubo metálico que une la biela con el pistón. El cuerpo de la biela es la parte central, está sometido a esfuerzos de tracción-compresión en su eje longitudinal, y suele estar aligerado, presentando por lo general una sección en forma de doble T, y en algunos casos de cruz. La cabeza es la parte con el agujero de mayor diámetro, y se suele componer de dos mitades, una solidaria al cuerpo y una segunda postiza denominada tapa, que se une a la primera mediante

tornillos. Entre estas dos mitades se aloja un casquillo, cojinete o rodamiento, que es el que abraza a l correspondiente muñón en el cigüeñal. [7]



Figura 3. Biela de motor de gasolina

2.2.1.4 Cilindro de motor (Liner)

El cilindro de un motor es el recinto por donde se desplaza un pistón. Su nombre proviene de su forma, aproximadamente un cilindro geométrico. En los motores de combustión interna tales como los utilizados en los vehículos automotores, se dispone un ingenioso arreglo de cilindros junto con pistones, válvulas, anillos y otros mecanismos de regulación y transmisión, pues allí es donde se realiza la explosión del combustible.

Es el origen de la fuerza mecánica del motor que se transforma luego en movimiento del vehículo. El cilindro es una pieza hecha con metal fuerte porque debe soportar a lo largo de su vida útil un trabajo a alta temperatura con explosiones constante de combustible, lo que lo somete a un trabajo excesivo bajo condiciones extremas. Una agrupación de cilindros en un motor constituye el núcleo del mismo, conocido como bloque del motor. Hay motores desde un cilindro, como las motosierras y algunas motocicletas, hasta motores de 12 o 16 cilindros en automóviles, camiones y aviones. El diámetro y la carrera del cilindro, o mejor, la cilindrada, tienen mucho que ver con la potencia que el motor ofrece, pues están en relación directa con la cantidad de aire que admite para mezclarse

con el combustible y que luego explota, generando con ello el movimiento mecánico que finaliza con el desplazamiento del vehículo hacia otra posición. [9]



Figura 4. Liner de motor de gasolina VW 1.6 L

2.2.1.5 Cigüeñal.

Un cigüeñal es un eje acodado, con codos y contrapesos presente en ciertas máquinas que, aplicando el principio del mecanismo de biela -manivela, transforma el movimiento rectilíneo alternativo en rotatorio y viceversa. El extremo de la biela opuesta al perno del pistón (cabeza de biela) conecta con el muñón, el cual junto con la fuerza ejercida por el pistón sobre el otro extremo (pie de biela) genera el par motor instantáneo. El cigüeñal va sujeto en los apoyos (bancadas), siendo el eje que une los apoyos el eje del motor. Normalmente se fabrican de aleaciones capaces de soportar los esfuerzos a los que se ven sometidos y pueden tener perforaciones y conductos para el paso de lubricante. Hay diferentes tipos de cigüeñales; los hay que tienen un apoyo cada dos muñones y los hay con un apoyo entre cada muñón. Por ejemplo para el motor de automóvil más usual, el de cuatro cilindros en línea, los hay de tres apoyos, (hoy ya en desuso) y de cinco apoyos, (lo más común). En otras disposiciones como motores en V o bien horizontales opuestos

(bóxer) puede variar esta regla, dependiendo del número de cilindros que tenga el motor. El cigüeñal es también el eje del motor con el funcionamiento del pistón. [9]



Figura 5. Cigüeñal de motor de gasolina 4 cilindros.

2.2.1.6 Culata o cabeza de motor

La culata, tapa de cilindros, cabeza del motor o tapa del bloque de cilindros es la parte superior de un motor de combustión interna que permite el cierre de las cámaras de combustión. Constituye el cierre superior del bloque motor. Sobre ella se asientan las válvulas, teniendo orificios para tal fin. La culata presenta una doble pared para permitir la circulación del líquido refrigerante. Si el motor de combustión interna es de encendido provocado (motor Otto), lleva orificios roscados donde se sitúan las bujías. La culata se construye en fundición o en aleación ligera y se une al bloque motor mediante tornillos y una junta: la junta de culata. [9]



Figura 6. Cabeza de motor de gasolina de 4 cilindros con sistema SOHC.

2.2.1.7 Cárter de aceite

El cárter es una caja metálica que aloja los mecanismos operativos del motor. Es el elemento que cierra el bloque, de forma estanca, por la parte inferior, y que cumple adicionalmente con la función de actuar como depósito para el aceite del motor. Simultáneamente, este aceite se refrigera al ceder el calor exterior. [7]

Normalmente el cárter se fabrica por estampación a partir de chapa de acero. Su forma cóncava aporta la capacidad de almacenaje de aceite necesaria para cada motor. Con el objeto de evitar el oleaje del aceite, que suelen disponer en el cárter de chapas que frenan el desplazamiento del mismo, especialmente en el sentido de la marcha. [7]

El cárter también se fabrica con aleaciones ligeras de aluminio que sin aportar demasiado peso, y debido a su buena conductibilidad térmica, disipan una gran cantidad de calor, a lo que contribuye en muchos casos la presencia de aletas de refrigeración. El empleo de este material presenta la ventaja añadida de que disminuye el nivel acústico del motor.

El cárter está fijado al bloque motor mediante tornillos con interposición de una junta de estanqueidad, y en el parte inferior del mismo está situado el tapón roscado que permite su drenaje. [10]



Figura 7. Cáster de aceite de motor de gasolina de 4 cilindros.

2.2.1.8 Bloque motor

El bloque del motor, bloque motor, bloque de cilindros o monoblock es una pieza fundida en hierro o aluminio que aloja los cilindros de un motor de combustión interna así como los soportes de apoyo del cigüeñal. El diámetro de los cilindros, junto con la carrera del pistón, determina la cilindrada del motor. [10]

La función del bloque es alojar el tren alternativo, formado por el cigüeñal, las bielas y los pistones. En el caso de un motor por refrigeración líquida, la más frecuente, en el interior del bloque existen también cavidades formadas en el molde a través de las cuales circula el líquido de enfriamiento, así como otras tubulares para el aceite de lubricación cuyo filtro también está generalmente fijo a la estructura del bloque. Cuando el árbol de levas no va montado en la culata (como es el caso del motor OHV) existe un alojamiento con apoyos para el árbol de levas de las válvulas. [10]

El bloque tiene conexiones y aperturas a través de las cuales varios dispositivos adicionales son controlados a través de la rotación del cigüeñal, como puede ser la bomba de agua, bomba de combustible, bomba de aceite y distribuidor (en los vehículos que los poseen).



Figura 8. Bloque de cilindros de motor de gasolina 5,7 L.

2.3 Características de los Pistones

En un motor de combustión interna, los pistones convierten la energía térmica en mecánica. Las funciones del pistón son:

- Transmitir las fuerzas de gas a través de la biela al cigüeñal
- Sellar, en conjunto con los empaques del pistón, la cámara de combustión con el fin de evitar la filtración del aceite en la cámara de combustión.
- Disipar el calor de combustión absorbido a la camisa del cilindro y el aceite de enfriamiento.

Aleaciones de aluminio son los materiales preferidos para los pistones en los motores a gasolina y diésel, debido a sus características específicas: baja densidad, alta conductividad térmica, técnicas de manufactura simples (fundición y forja), alta confiabilidad y muy buenas características de reciclaje. Un apropiado control de la composición química, de las condiciones de proceso y de la temperatura final del tratamiento resultan en una microestructura la cual asegura el desempeño mecánico y térmico requerido, en particular la resistencia a la fatiga a altas temperaturas. [3]

El continuo desarrollo de los motores de gasolina y diésel requieren también el avance de los pistones: reducción del peso del pistón, incremento en la capacidad de carga térmica y mecánica, menor fricción y mejoramiento de la resistencia al desgaste, etc. Además, los requerimientos básicos de durabilidad, bajo nivel de ruido y mínimo consumo de aceite también deben tenerse en cuenta. Estos objetivos se pueden alcanzar mediante una combinación de metas, desempeño de los materiales del pistón, nuevos diseños de pistones y la aplicación de nuevas tecnologías de manufactura. [3]

Los pistones están sujetos a cargas mecánicas y térmicas extremadamente altas. Las cargas mecánicas que tiene que soportar un pistón resultan de:

- Ciclos de presión extremos con picos de presión por encima de los 200 bar en la cámara de combustión
- Muy altas fuerzas debidas a la inercia causadas por una extremadamente alta aceleración durante el movimiento recíprocante del pistón.

En los motores a gasolina, las cargas térmicas han subido de una manera significativa durante los últimos años como resultado de mayores demandas de potencia. De la misma manera el estrés por presión durante el encendido se ha incrementado, debido principalmente, a la introducción de control de golpeteo, inyección directa del combustible y la turboalimentación. Más aun, los diseños de motores más potentes han producido un incremento en la carga de inercia. Los requerimientos para pistones para motores diésel son aún más demandantes. Los motores diésel modernos para pasajeros operan con presiones de inyección arriba de las 2000 bares, mientras las presiones efectivas superan las 20 bares, presiones pico de 170 a 200 bar, y alcanzan potencias efectivas promedio superiores a 80 kW por litro. Pero también la demanda por menores emisiones de gases requiere mejorar significativamente las características de los materiales de los pistones. [3]

Las cargas térmicas en los pistones resultan del proceso de combustión con temperaturas máximas de gas en la cámara de combustión entre 1800 y 2600 °C dependiendo del tipo de motor, combustible, intercambiador de gases, compresión y relación combustible/gas. Las temperaturas de los gases de escape están entre 500 y 800 °C. El calor de

combustión es transferido a las paredes de la cámara y la parte superior del pistón debido, principalmente, por convección. El calor es después disipado por el fluido de enfriamiento de las paredes de la cámara y mediante el aceite de enfriamiento del pistón. [3]

2.3.1 Materiales de los Pistones

Los pistones son fabricados mediante forja o fundido, la alta resistencia a la temperatura de los silicatos de aluminio permiten estos dos tipos de métodos de fabricación. Existen tres tipos de aleaciones de pistones de aluminio. La aleación estándar es una mezcla eutéctica de aluminio con silicio al 12% que contiene aproximadamente 1% de Cobre, Níquel y Magnesio. Aleaciones hipereutécticas se realizan con entre 18 y 24% de Silicio, lo cual otorga menor expansión térmica y desgaste, pero tiene menor fuerza. [3]

La mayoría de los pistones son producidos mediante fundición a presión. Optimizando la composición de la aleación y controlando las condiciones de solidificación, permiten la producción de pistones con bajo peso y alta fuerza estructural. [3]

Los pistones realizados mediante forja con aleaciones eutécticas e hipereutécticas presentan alta fuerza y se utilizan en motores de alto desempeño donde el pistón se somete a muy alto estrés. Una mejor ventaja es la posibilidad de producirlos con menor espesor de pared, y por ello reducir el peso del pistón. [3]

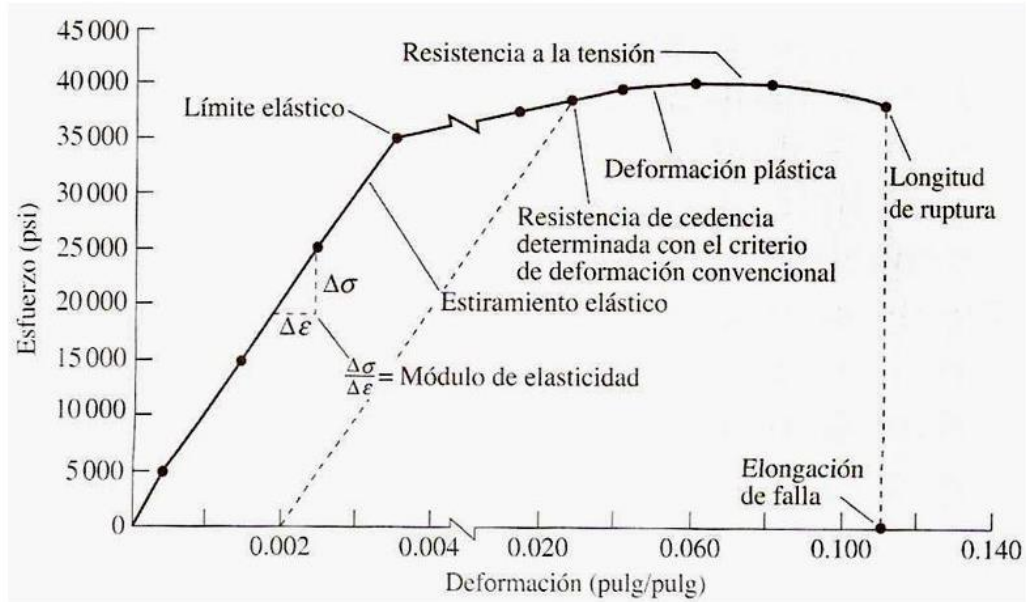


Figura 9. Diagrama esfuerzo – deformación para aleaciones de aluminio

2.3.2 Consideraciones de diseño para pistones de automóviles

En los motores para pasajeros, el diámetro de los pistones de aluminio tanto para motores a gasolina o diésel varía en un intervalo típico entre 65 y 110 mm. Existen dos tipos básicos:

- Pistones de aluminio puro
- Pistones de aluminio con elementos trazas

Se utilizan como elementos trazas acero o cerámica con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas y térmicas y/o controlar la expansión térmica, debido a que se reducen los efectos de los coeficientes de expansión térmica en las áreas de contacto con otros materiales. [3]

Para mejorar las propiedades de movimiento, la parte externa del pistón es protegida con un revestimiento para reducir la fricción y de esta manera incrementar la resistencia al rallado. Existen diferentes métodos de revestimiento, como cromado, deposición química de níquel, entre otros. [3]

Durante las últimas dos décadas, diferentes medidas se han tomado para la reducción de la oscilación del pistón. La idónea selección del material de fabricación del pistón ha sido un elemento crucial para un proceso óptimo de producción y un apropiado diseño debe permitir la combinación de bajo peso y alta estabilidad. También es un factor crítico la aplicación de los apropiados empaques para los pistones. Estos son producidos a partir de hierro fundido y acero y se optimiza su desempeño con revestimientos electrochapados, aspersion térmica o deposición de vapor; todo esto con el fin de la reducción del desgaste, mayores intervalos de servicio, mejor acople con el cilindro, reducir el consumo o reducir la fricción. [3]

CAPÍTULO III – MARCO TEÓRICO

3.1 Definición de Control Estadístico de Proceso

El control estadístico de procesos recibe una creciente atención como herramienta de administración en la que importantes características de un producto se observan, evalúan y comparan con algún tipo de estándar. [21]

Es un proceso que proporciona mejoramiento continuo por medio de la participación total de la organización y las técnicas estadísticas comprobadas.

El uso del control estadístico de procesos lleva implícitas algunas hipótesis que se describen a continuación [21]:

- 1) Una vez que el proceso está en funcionamiento bajo condiciones establecidas, se supone que la variabilidad de los resultados en la medición de una característica de calidad del producto se debe sólo a un sistema de causas aleatorias, que es inherente a cada proceso en particular.
- 2) El sistema de causas aleatorias que actúa sobre el proceso genera un universo hipotético de observaciones (mediciones) que tiene una Distribución Normal.
- 3) Cuando aparece alguna causa asignable provocando desviaciones adicionales en los resultados del proceso, se dice que el proceso está fuera de control.

La función del control estadístico de procesos es comprobar en forma permanente si los resultados que van surgiendo de las mediciones están de acuerdo con las dos primeras hipótesis. Si aparecen uno o varios resultados que contradicen o se oponen a las mismas, es necesario detener el proceso, encontrar las causas por las cuales el proceso se apartó de su funcionamiento habitual y corregirlas. [21]

3.2 Variación

Son las diferencias inevitables entre los resultados individuales en un proceso; las fuentes de variación se pueden agrupar en dos clases principales: Causas aleatorias de variación y Causas específicas (imputables o asignables). [12]

3.3 Causas de variación

Todo proceso tendrá variaciones, pudiendo estas agruparse en:

- Causas aleatorias de variación. Son causas desconocidas y con poca significación, debidas al azar y presentes en todo proceso. Difícil identificación y eliminación. [21]
- Causas específicas (imputables o asignables). Normalmente no deben estar presentes en el proceso. Provocan variaciones significativas, sí pueden ser descubiertas y eliminadas. [21]

Existen 6 fuentes principales de variación:

1. Maquinaria. (Por ejemplo, grado de desgaste y la elección de las herramientas).
2. Medición. (Por ejemplo, la resolución de instrumentos de medida).
3. Operador. (Por ejemplo, la experiencia que posee y lo cuidadoso que él / ella es).
4. Materiales. (Por ejemplo, las variaciones en la suavidad de la superficie y dureza).
5. Medio ambiente (Por ejemplo, variaciones en la temperatura, la humedad y el voltaje).
6. El método. (Por ejemplo, tipo de maquinado).

3.4 Proceso estable

Las características de todos los procesos y productos presentan algún tipo de variación cuando son medidas a lo largo del tiempo. Dicha variación puede tener dos fuentes: la misma naturaleza del proceso (la variación normal o natural del proceso, relacionada con la interacción entre sus distintos componentes; personal, maquinaria, materiales,

métodos y ambiente), y las causas relacionadas con algún origen específico (las variaciones especiales). [21]

La variación normal del proceso (llamada causa común de variación) tiene un comportamiento al azar, pero con un patrón estable y dentro de ciertos límites. Si un proceso presenta únicamente este tipo de variación estaremos ante un proceso estadísticamente controlado. [21]

La variación especial, por el contrario, no tiene un patrón de comportamiento que pueda ser identificado. El impacto de este tipo de variaciones en el rendimiento del proceso y en las características del producto es muy importante, a tal punto que es imposible predecir los resultados. Las variaciones especiales no tienen su origen en el proceso, sino en causas externas tales como el medio ambiente, el material de input al proceso, personal no capacitado, métodos o herramientas incorrectamente usadas, etc. [21]

Una vez que las variaciones originadas en causas especiales sean removidas, se podrá asegurar que el proceso es estable (estadísticamente controlado). Una vez alcanzado este estado, se puede optimizar el proceso, reduciendo la variabilidad. [21]

3.5 Curvas de distribución normal.

También se llama la curva de campana debido a su forma, este es el patrón en el que las lecturas de medición se distribuyen en la mayoría de los casos como resultado de variaciones aleatorias sobre el valor medio (el punto más alto de la curva, ver Figura 10). [21]

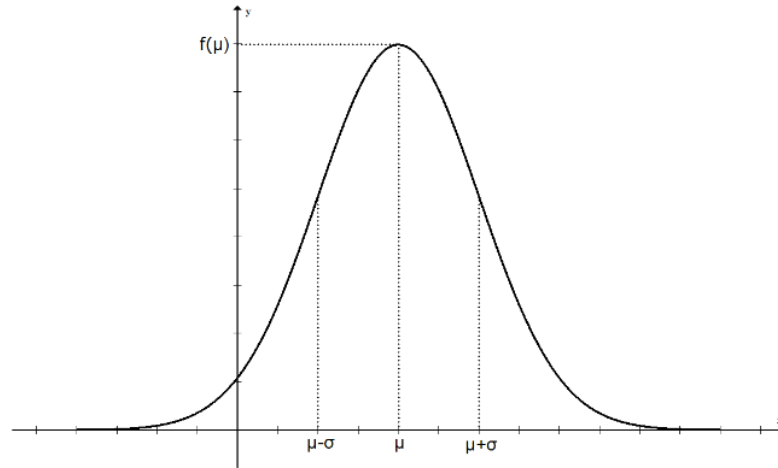


Figura 10. Curva normal de distribución

3.6 Capacidad de un proceso (Cp)

La capacidad de proceso es una medida que especifica si el proceso de fabricación puede mantenerse dentro de tolerancia; es también la habilidad de una característica de cumplir con las especificaciones. La capacidad no se puede determinar para procesos que no estén bajo control estadístico. [12]

3.6.1 Análisis de la capacidad de un proceso

Un proceso de fabricación es un conjunto de materias primas, mano de obra, condiciones ambientales, maquinaria y métodos de trabajo que genera un producto fabricado.

Para analizar el comportamiento del proceso, se toman muestras de producto fabricado y se realizan ensayos para determinar el valor de una característica de calidad seleccionada previamente.

Cualquier modificación en las condiciones del proceso (Modificación en el equipo, cambio de materias primas, etc.) conceptualmente debe considerarse como que se trata de otro proceso, diferente del anterior.

Para analizar la capacidad del proceso se puede recurrir a un histograma de frecuencias. Si se dispusiera de todos los datos del universo para la característica de calidad medida y se hiciera un histograma este permitiría tener una idea exacta de la fluctuación natural del proceso. Como esto es imposible, es necesario tomar un cierto número de mediciones y efectuar con ellas un histograma de frecuencias. [21]

Este es el histograma de una muestra y por lo tanto es sólo una estimación del verdadero histograma del universo.

Si se representa en las abscisas los “Límites de Especificación del producto”, se puede ver gráficamente si el proceso tiene capacidad para fabricar dicho producto.

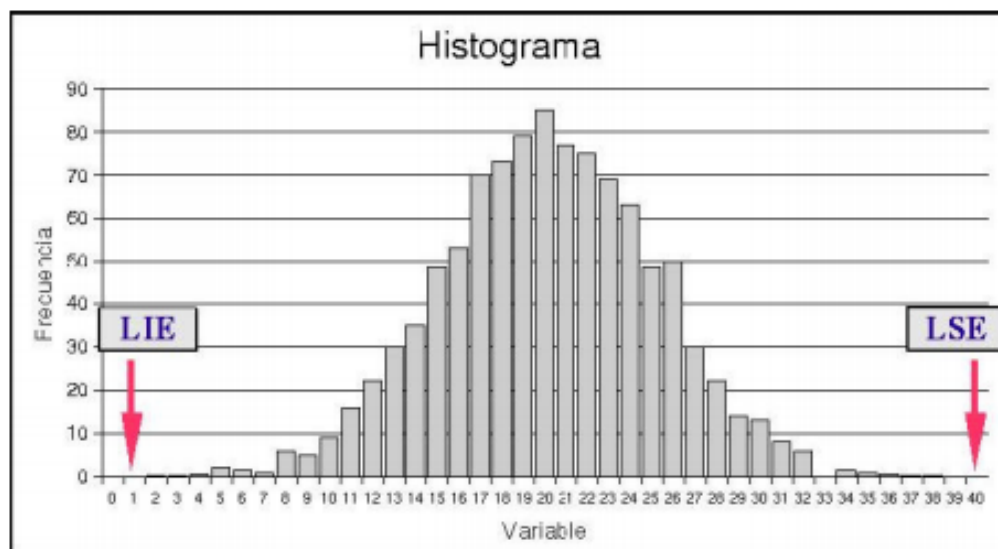


Figura 11. Ejemplo de histograma de frecuencias con Límites de Especificación del producto (LSE y LIE).

Para una variable aleatoria X que representa la característica de la calidad que se pretende controlar en el producto fabricado, la variabilidad de X determina el nivel de calidad del producto. Una primera aproximación es proporcionada por los límites de σ que definen una situación de control del proceso. Esta medida de la variabilidad del proceso está asociada a la consideración de un escenario donde el intervalo $\mu \pm 3\sigma$ incluye aproximadamente al 99.7 % de los valores de la característica X considerada. Los límites de dicho intervalo definen las tolerancias naturales o intrínsecas del proceso. Se

consideran los límites de especificación (LIE y LSE) que definen el rango de valores de X que se han establecido como permisibles. Asimismo, el valor objetivo, definido por el valor medio poblacional μ se supondrá centrado respecto a los límites de especificación. Se define entonces el índice de capacidad estándar del proceso como:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Este índice relaciona la diferencia entre los límites de especificación (establecidos) y un múltiplo de la desviación típica de la característica estudiada, que está asociado a la variabilidad del proceso y, por tanto, a las tolerancias naturales. Para $Cp = 1$ el proceso fabrica un 0,3 % de artículos defectuosos (bajo normalidad). Si $Cp < 1$, el proceso fabrica una proporción de defectuosos superior al 0,3 %; dicha proporción aumenta según el valor se aleje de la unidad. En este caso habrá que actuar sobre el proceso para incrementar su capacidad. Si $Cp > 1$, el proceso fabrica una proporción de defectuosos inferior al 0,3 %; dicha proporción disminuye según Cp se aleja de la unidad. La frecuencia de muestreo y la fracción de muestreo dependen de los valores de este índice. Para índices inferiores a la unidad se suelen inspeccionar todas las piezas producidas. En cambio, un incremento de este índice por encima de la unidad permite disminuir la frecuencia de muestreo y, por tanto, el número de unidades que se inspeccionan. [21]

Sin embargo el índice de capacidad Cp es una forma cuantitativa simple para expresar la capacidad de un proceso, pero no tiene en cuenta el centrado del proceso, es decir, no toma en cuenta dónde se localiza la media del proceso respecto a las especificaciones. Cp mide simplemente la extensión de las especificaciones en comparación con la dispersión seis sigma. [12]

Se define el índice Cpk para tener en cuenta el centrado del proceso. Este índice de capacidad (Cpk) se describe como: "Valor que caracteriza la relación existente entre la media del proceso y su distancia al límite de especificación". Es el índice utilizado para saber si el proceso se ajusta a las tolerancias, es decir, si la media natural del proceso se encuentra centrada o no con relación al valor nominal del mismo. [12]

Para calcular el índice Cpk, se utiliza la siguiente ecuación.

$$Cpk = \min[Cp\ USL, Cp\ LSL]$$

Siendo:

$$Cp\ USL = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$$

$$Cp\ LSL = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

Dónde:

USL	Upper Specification Limit (Límite superior de especificación).
LSL	Lower Specification Limit (Límite inferior de especificación).
μ	Media estimada del proceso.
σ	Desviación estándar del proceso. $\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$
N	Tamaño de la población.
\bar{x}	Media aritmética de la población.

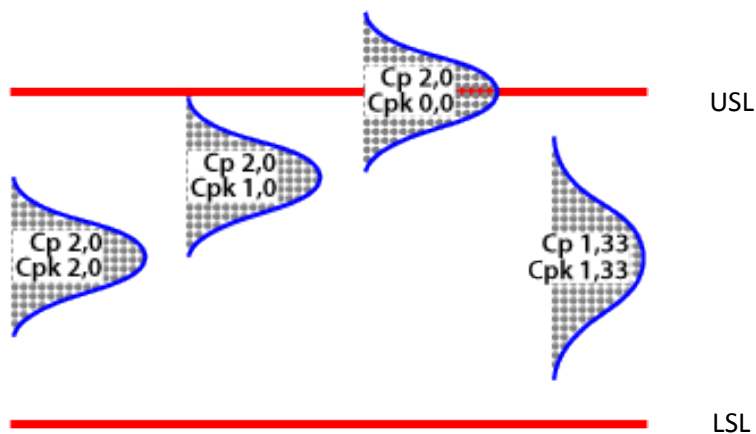


Figura 12. Diferencia entre Cp y Cpk.

3.7 Partes por millón (PPM)

En el contexto de control de calidad, PPM significa el número de partes por millón que se encuentran fuera de los límites de tolerancia. $Cpk = 1,00$ significa que 2 700 PPM (0,27%) de las piezas fabricadas están fuera de tolerancia, mientras que $Cpk = 1,33$ significa que el 63 PPM (0,0063%) son los rechazos. [12]

Tenga en cuenta que el índice de PPM se puede mejorar drásticamente por una mejora relativamente pequeña en el índice de capacidad (véase Fig. 13).

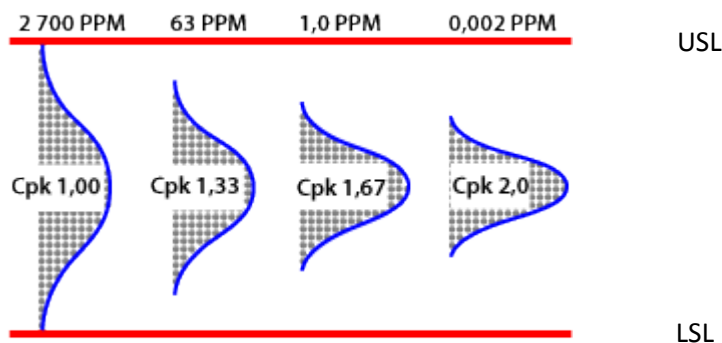


Figura 13. Relación de Cpk y PPM.

3.8 Six Sigma

Six Sigma es una filosofía de mejora de la calidad aplicado por las empresas y organizaciones. El método se centra en minimizar los residuos, reduciendo al mínimo las variaciones en los procesos. [12]

En términos concretos, Six Sigma significa que los procesos de la compañía mantienen seis desviaciones estándar de la media del proceso hasta el límite de tolerancia más cercano. De esto se desprende que $Cpk 2.0$ da 6 sigma, mientras que por ejemplo $Cpk 1,33$ da 4 sigma (ver Figura. 14) [12]

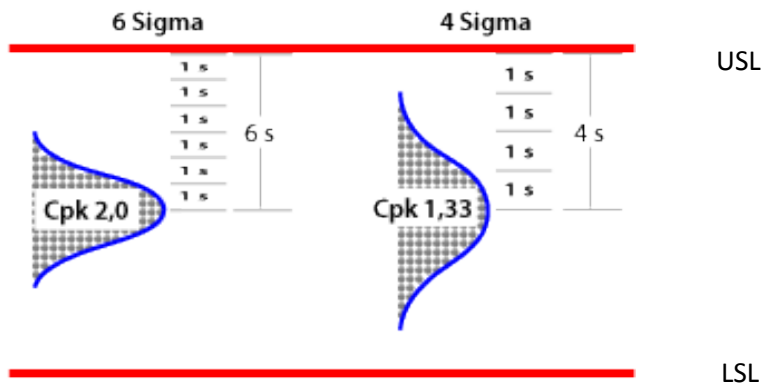


Figura 14. Relación Cpk y Nivel Sigma

3.9 Gráficas de control

Las gráficas de control permiten estudiar la variación cronológica de un proceso, para identificar si están presentes o ausentes causas asignables (especiales) de variación.

El propósito de una gráfica de control es determinar si el comportamiento de un proceso se mantiene en un nivel aceptable de calidad. Se espera, que cualquier proceso experimente una variabilidad natural, debido a fuentes de variación poco importantes e incontrolables. [21]

Un proceso puede experimentar tipos más serios de variabilidad en mediciones clave de comportamiento. Estas fuentes de variabilidad pueden surgir de uno de varios tipos de causas asignables no aleatorias, como errores del operador o indicadores mal ajustados en una máquina. [21]

Por lo general, la gráfica de control toma la forma que se indica en la figura 12. Es importante que el corrimiento se detecte de forma rápida de modo que se pueda corregir el problema. Obviamente, si la detección es lenta se producen muchos artículos defectuosos o fuera de las especificaciones, lo que tiene como resultado un considerable desperdicio y un costo aumentado. [21]

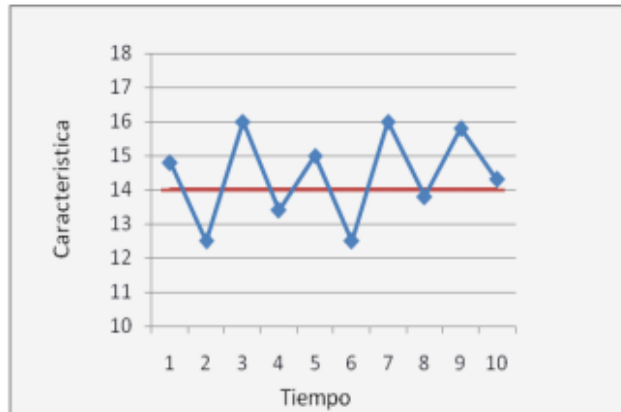


Figura 15. Gráfica de control típica.

Se deben considerar algunos tipos de características de calidad y las unidades del proceso se deben muestrear conforme pasa el tiempo. Los límites de control superior e inferior se eligen de modo que se esperaría que todos los puntos muestrales queden cubiertos por estos límites si el proceso está controlado. Como resultado, la forma general de los puntos graficados respecto al tiempo determina si se concluye que el proceso está dentro de control. La evidencia para estar dentro de control la produce un patrón aleatorio de puntos, con todos los valores graficados dentro de los límites de control, esto se toma como evidencia de un proceso que esta fuera de control, y se sugiere una búsqueda de la causa. [21]

3.9.1 Gráfica de rachas (Run Chart)

Un gráfico de rachas nos permite identificar patrones no aleatorios en los datos. En él se representan las medias (o las medianas) contra el número del subgrupo al que pertenecen. El gráfico contiene además una línea horizontal de referencia que representa la mediana de las observaciones. [12]

Los datos de un proceso que se encuentre bajo control (es decir, cuya variabilidad se deba sólo a causas comunes) deberían seguir un patrón aleatorio, como ocurre en el gráfico mostrado en la figura 13. [12]

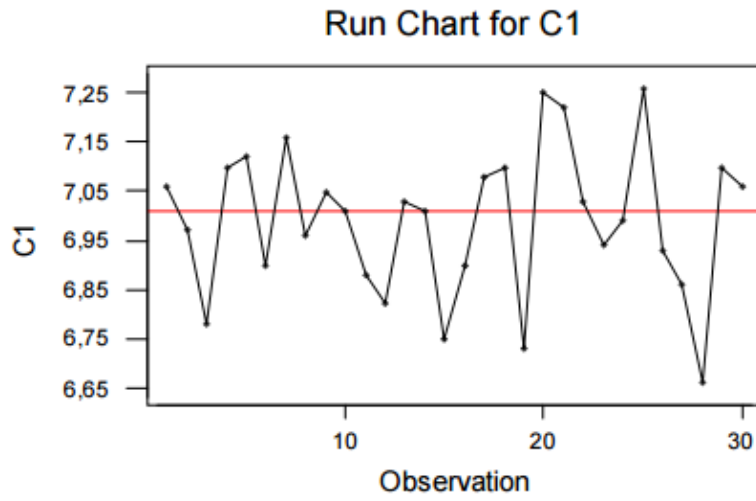


Figura 16. Gráfica de rachas típica.

CAPÍTULO IV – MARCO METODOLÓGICO

4.1 Diseño de la investigación

La metodología propuesta para desarrollar el proyecto consta de cuatro partes, comenzando con la realización de un estudio de tiempos de ciclo que nos muestre la situación actual de operación de la línea de producción. Este estudio permitirá observar:

- Cuellos de botella en la línea de producción.
- Fuentes de retraso.
- Tiempos de ciclo altos

La segunda etapa será la medición del proceso en la operación de “Corte de largo de pistón”, para lo cual se calculará la habilidad del proceso (ckp) en ese punto, su eficiencia de la máquina y el tiempo de Change Over.

En el tercer ítem se diseñará la nueva herramienta de corte para realizar la operación de corte de largo de pistón, cumpliendo con la especificación de construcción dada por el cliente, asimismo se realizarán los cálculos para validar el diseño.

En el cuarto y último paso se validará los resultados de la aplicación de esta nueva herramienta en la línea de producción, mediante mediciones similares a las realizadas en la etapa 2. Con esta información y utilizando herramientas estadísticas se definirán los cambios que la nueva herramienta produjo en el proceso. Además se volverá a generar un estudio de tiempos de ciclo con los nuevos valores que demuestren que el cambio de herramienta ha dado un ahorro significativo en tiempo y eficiencia.

4.2 Tipo de Investigación

La investigación que se realizó fue de tipo experimental, debido a que se tomaron datos experimentales

4.3 Alcance

La investigación que se realizó fue de tipo descriptiva y evaluativa y experimental. Descriptiva debido a que se diagnosticó la situación actual de una etapa de producción. Evaluativa debido a que se evaluó las condiciones de trabajo de la línea de producción actual y proyectada. También fue de tipo experimental debido a que valoró cuantitativamente la modificación al proceso de maquinado.

4.4 Método

En la tabla 1 se presentan los objetivos junto con las actividades propuestas para cumplir cada uno de estos.

Objetivos	Actividades.
Realizar un estudio de tiempos de ciclo en la línea productiva objetivo de la presente tesis.	<ol style="list-style-type: none"><li data-bbox="873 1005 1385 1083">1. Establecer los puntos de inicio y fin de la operación en cuestión.<li data-bbox="873 1094 1385 1171">2. Hacer una lista de pasos del proceso de la operación.<li data-bbox="873 1182 1385 1260">3. Realizar la medición de tiempos en cada uno de los pasos de la operación.<li data-bbox="873 1270 1385 1398">4. Hacer mediciones de tiempo de ciclo en esa operación tomando 30 piezas muestra.
Realizar la medición estadística del proceso de "Corte de largo de pistón".	<ol style="list-style-type: none"><li data-bbox="873 1419 1385 1583">1. Con el apoyo del personal técnico de mantenimiento, se realizará un estudio de tiempo de <i>Change over</i> de la herramienta.<li data-bbox="873 1593 1385 1812">2. Se definirán, tomando como base el plano de construcción del pistón producido en esta línea de manufactura, los parámetros críticos para la calidad que el cliente solicita.<li data-bbox="873 1822 1385 1900">3. Se realizará un reporte dimensional para 30 piezas seleccionadas

	<p>aleatoriamente y se calculara la habilidad del proceso (ckp) para cada uno de los parámetros críticos para la calidad.</p>
Diseño de la herramienta de corte.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar una matriz de características y requerimientos de calidad del cliente, aplicables a esta operación. 2. Cálculo de las dimensiones necesarias para la nueva herramienta según el plano de construcción. 3. Realizar el dibujo CAD del nuevo herramental. 4. Selección del material la herramienta de corte según propuestas de proveedor.
Validación de resultado.	<p>Con la herramienta de corte nuevo instalado, se realizará lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Corrida de prueba de 30 piezas, en la cual se medirán los parámetros dimensionales que el cliente solicita como requisito. 2. Cálculo de la habilidad del proceso según los resultados del punto anterior. 3. Estudio estadístico de tiempo de <i>Change over</i> necesario para esta nueva herramienta. <p>Con la herramienta de corte liberado para producción se realizará:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Comparación de los tiempos antes y después de la implementación de la nueva herramienta de corte.

Tabla 1. Objetivos y actividades del proceso.

CAPÍTULO V. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE MANUFACTURA DEL PISTÓN 1.6 L

En este capítulo se presenta el diagnóstico del proceso actual de manufactura de pistón para gasolina 1.6 L.

5.1 Descripción del proceso de producción de Pistón

Con la finalidad de entender la forma en la cual la herramienta de corte propuesto afecta el proceso de producción de pistones, se hace necesario identificar el proceso actual de producción. A continuación se realiza la explicación del mismo.

Inicialmente se plantean las partes principales del pistón, en la figura 17 se presenta un esquema del pistón, que junto con la información consignada en la tabla 2 explica cada una de las partes más importantes del pistón.

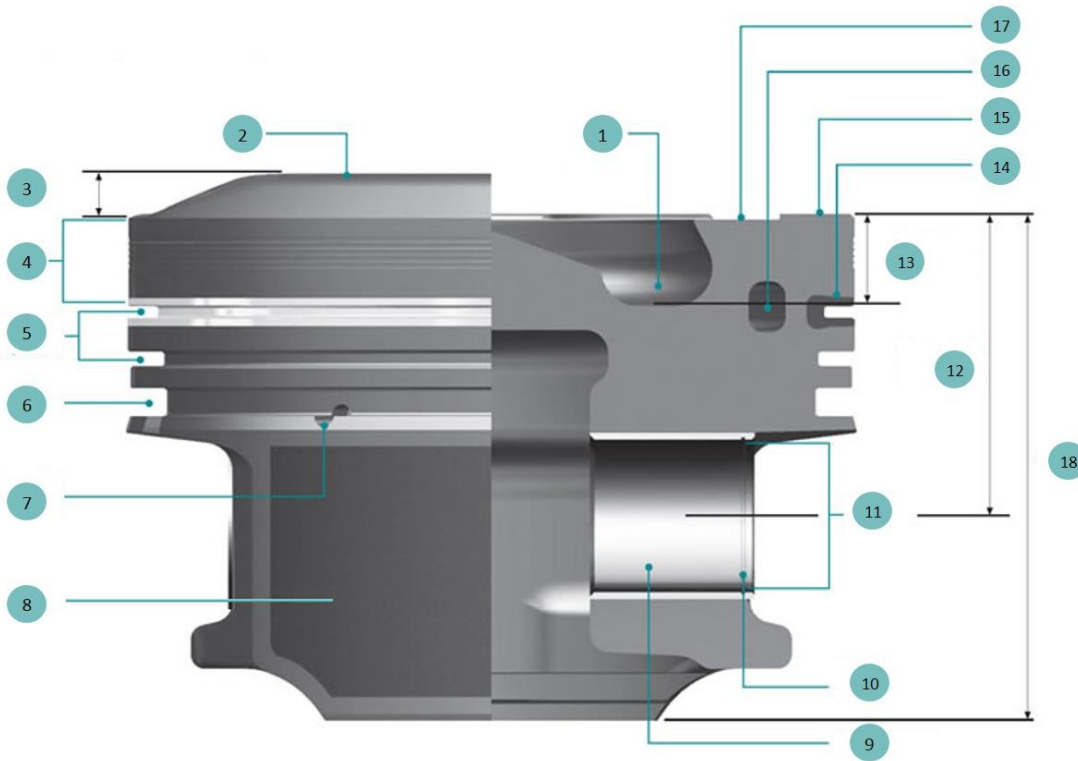


Figura 17. Principales partes del pistón. [11]

No. Ítem	Nombre	Función
1	Cámara de combustión	La cámara de combustión es el lugar donde se realiza la combustión del combustible con el comburente, (aire). El inyector introduce en ella el combustible pulverizado, el cual se mezcla con el aire; de ahí que la forma de la cámara de combustión deba facilitar esta mezcla.
2	Corona	Parte superior del pistón cuya cara superior (Plano de cámara de combustión) está en contacto permanente con todas las fases del fluido: Admisión, compresión, combustión y consecuente expansión y escape.
3	Altura de corona	Determina principalmente la relación de compresión de un motor, que es la capacidad de este mismo motor para comprimir un volumen de aire mezclado con gasolina un número de veces determinado.
4	Landa	Determina en gran parte el peso del pistón. Proporciona la robustez necesaria al pistón para soportar las fuerzas que se ejercen sobre el anillo de compresión al momento de la combustión.
5	Ranuras de anillos de compresión	En ellas se albergan los anillos, cuya función es reducir las pérdidas de compresión de la mezcla y gases de combustión.
6	Ranura de anillo de control de aceite y anillos de expansión.	En ella se alberga el anillo de control de aceite, y 2 anillos expansores (uno encima y otro debajo del anillo de control). Estos anillos sirven para lubricar las paredes de los cilindros, los pistones, los anillos y el perno sin entrar en el proceso de combustión. Ayudan al control de la temperatura, ya que enfrían el pistón dirigiendo el aceite a través de él.
7	Barrenos de lubricación	Son los conductos por los cuales el aceite es enviado por los anillos de control de aceite hacia el perno y al interior del pistón,
8	Falda	Parte del pistón comprendida entre el centro del orificio del perno y el extremo inferior del pistón. Forma una superficie de deslizamiento y guía al pistón dentro del cilindro.

9	Vena de lubricación del barreno de perno.	Ranuras por donde se mueve el aceite internamente hasta alcanzar el barreno de perno del pistón con el fin de proveerle lubricación.
10	Ranura de circlip	Incisión en el barreno de perno, donde se instala el seguro circlip, que asegura la posición del perno.
11	Barreno de perno	Orificio donde se aloja el perno que une al pistón con la biela y permite el movimiento de la misma, para mover al pistón del punto muerto inferior al punto muerto superior de manera cíclica, debido la rotación del cigüeñal.
12	Altura de compresión	La altura de compresión es la distancia entre el plano de la cámara de combustión y el punto central del eje del barreno de perno. Esta altura es una medida importante, pues a través de ella se tiene la certeza de que el pistón se halla en el punto muerto superior a una distancia correcta con respecto a la culata.
13	Profundidad de la cámara de combustión	Es la medida comprendida entre el plano de la cámara de combustión y la parte más baja de la misma cámara. Afecta directamente al volumen de compresión.
14	Anodizado de ranura para anillo primario de compresión	Capa de protección artificial mediante óxido protector del aluminio, conocido como alúmina. La capa se consigue por medio de procedimientos electroquímicos, y proporciona una mayor resistencia y durabilidad.
15	Marca PIP	Marca de posicionamiento (frente del pistón).
16	Galería de enfriamiento	Pasaje de circulación de aceite para efectos de control de temperatura del pistón.
17	Vaciado para válvula	Depresión en el plano de la cámara de combustión para que al abrir las válvula de admisión y escape en el traslape valvular, no tengan interferencia con el pistón.
18	Altura de falda a plano de cámara de combustión	Es la distancia entre el plano de la cámara de combustión y el extremo inferior de la falda. Esta altura es una medida importante, pues a través de ella se tiene la certeza de que el pistón se halla en el punto muerto inferior a una distancia correcta del cigüeñal.

Tabla 2. Explicación de las partes del pistón.

En la figura 18 se muestra el diagrama de flujo de proceso del pistón a gasolina de 1.6 L. El proceso inicia con la carga del material en la línea de producción, en donde se hace la inspección de la pieza. Una vez pasa la inspección es llevada a la máquina de corte de largo de Pistón (Maquinado de Spigot), en donde se realiza el maquinado de la parte inferior de la falda, para darle la altura total al pistón, así como el Spigot, que son pequeñas marcas de referencia en la parte baja e interna del pistón que permite su centrado al momento de ensamblarlo en el motor en la planta armadora de motores. El siguiente paso es el torneado de la falda y maquinado de la corona, en donde se desbasta para lograr el diámetro de la falda en desbaste para poder llevar acabo las siguientes operaciones, se forma la cámara de combustión y se da espesor a la corona, a continuación se lleva a la primera inspección, en donde se verifica el peso y la orientación del pistón.

El quinto paso es el desbaste del orificio del perno, lo cual genera el punto de entrada para el próximo proceso de barrenado del perno. Continúa con el maquinado de ranuras para los anillos, desbastando el pistón creando ranuras para los anillos del pistón. El séptimo paso es el rimado de barrenado para el perno y la formación de la vena de lubricación, en este punto se debe tener especial cuidado en las dimensiones del barrenado y de la vena de lubricación, así como en el acabado superficial del barrenado. Seguido se realiza el maquinado de la dimensión final de la falda, generando la formación de barril y manteniendo cuidado en la ovalidad. En este punto se realiza la inspección final de la pieza, midiendo las dimensiones y la orientación de la pieza y sus partes.

Los últimos pasos se centran en una inspección por parte del operador, almacenaje temporal y transporte al siguiente proceso, manteniendo especial cuidado de no golpearla

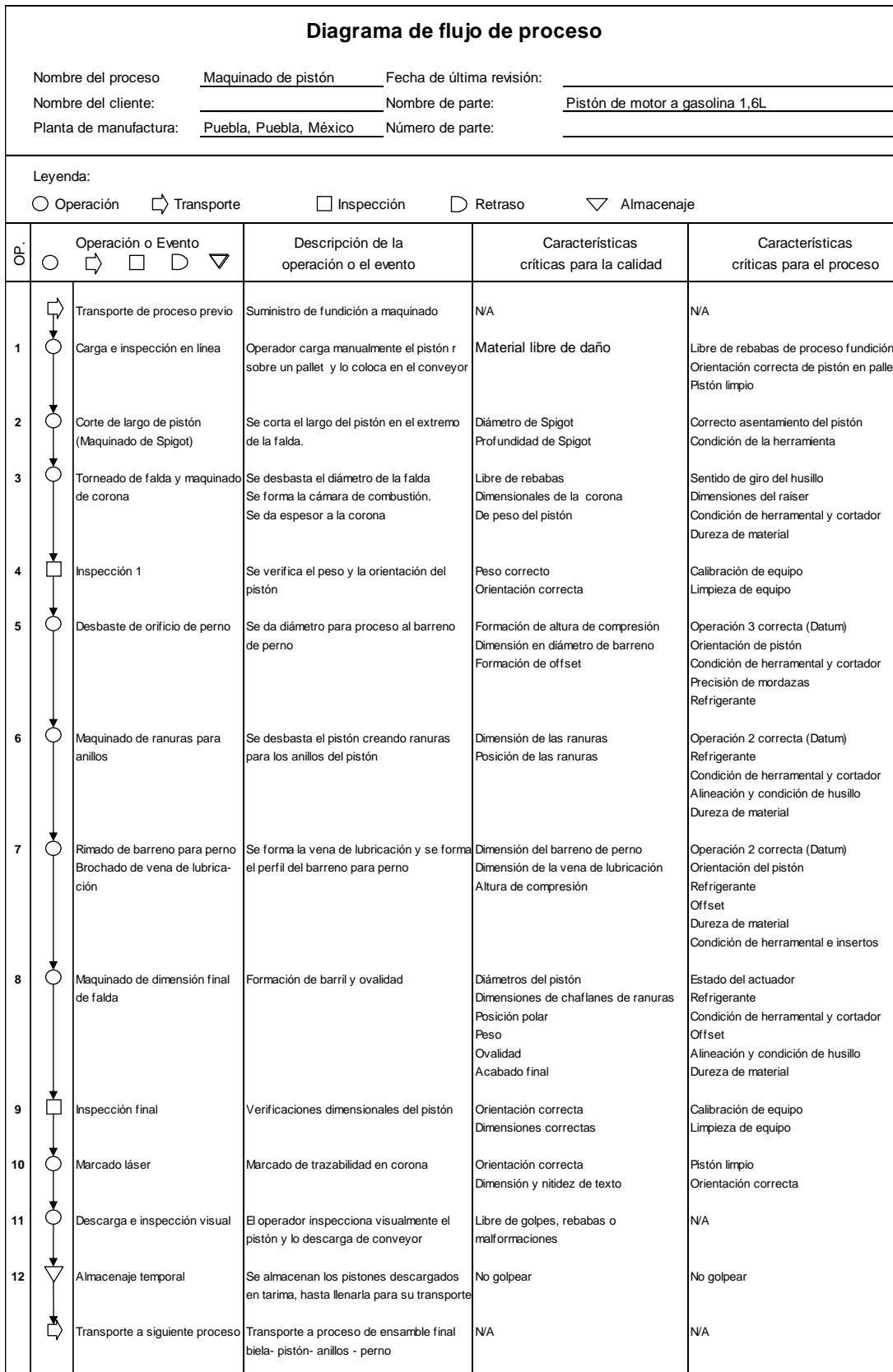


Figura 18. Diagrama de flujo de proceso maquinado de pistón

En la figura 19 se presenta el lay-out de la línea de manufactura del pistón a gasolina de 1.6 L.

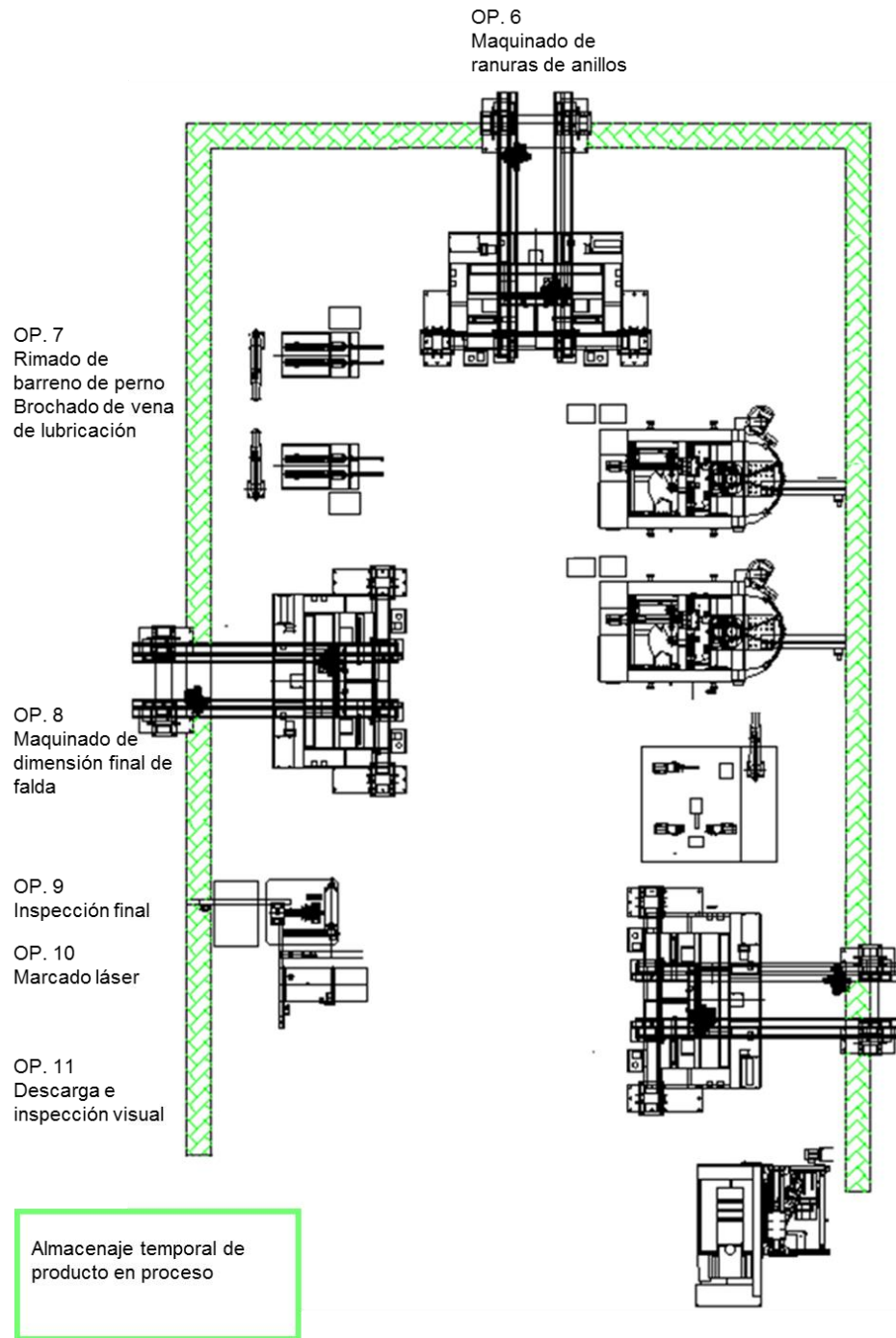


Figura 19. Lay-out de la línea de manufactura del pistón a gasolina de 1.6 L

5.2 Corte de Largo de Pistón (Maquinado de SPIGOT)

Esta operación tiene como finalidad, darle la altura total al pistón en proceso. En ella, la parte inferior de la falda, así como la parte inferior del extremo abierto de la falda, es cortada hasta llegar a la especificación requerida por el cliente.

Esta especificación es una característica crítica tanto para el proceso, pues la base del pistón es tomada como referencia para otras operaciones en el proceso de maquinado; como para el producto, pues esta altura es determinante para evitar contacto con otros elementos móviles en el motor (cigüeñal), así como para el control de vibraciones.

A continuación, figura 20, se muestra una parte del plano de construcción del pistón, que el cliente proporcionó para mostrar los requerimientos de la parte. Para proteger información confidencial, solo se ha autorizado mostrar lo estrictamente necesario para la ejecución de este proyecto.

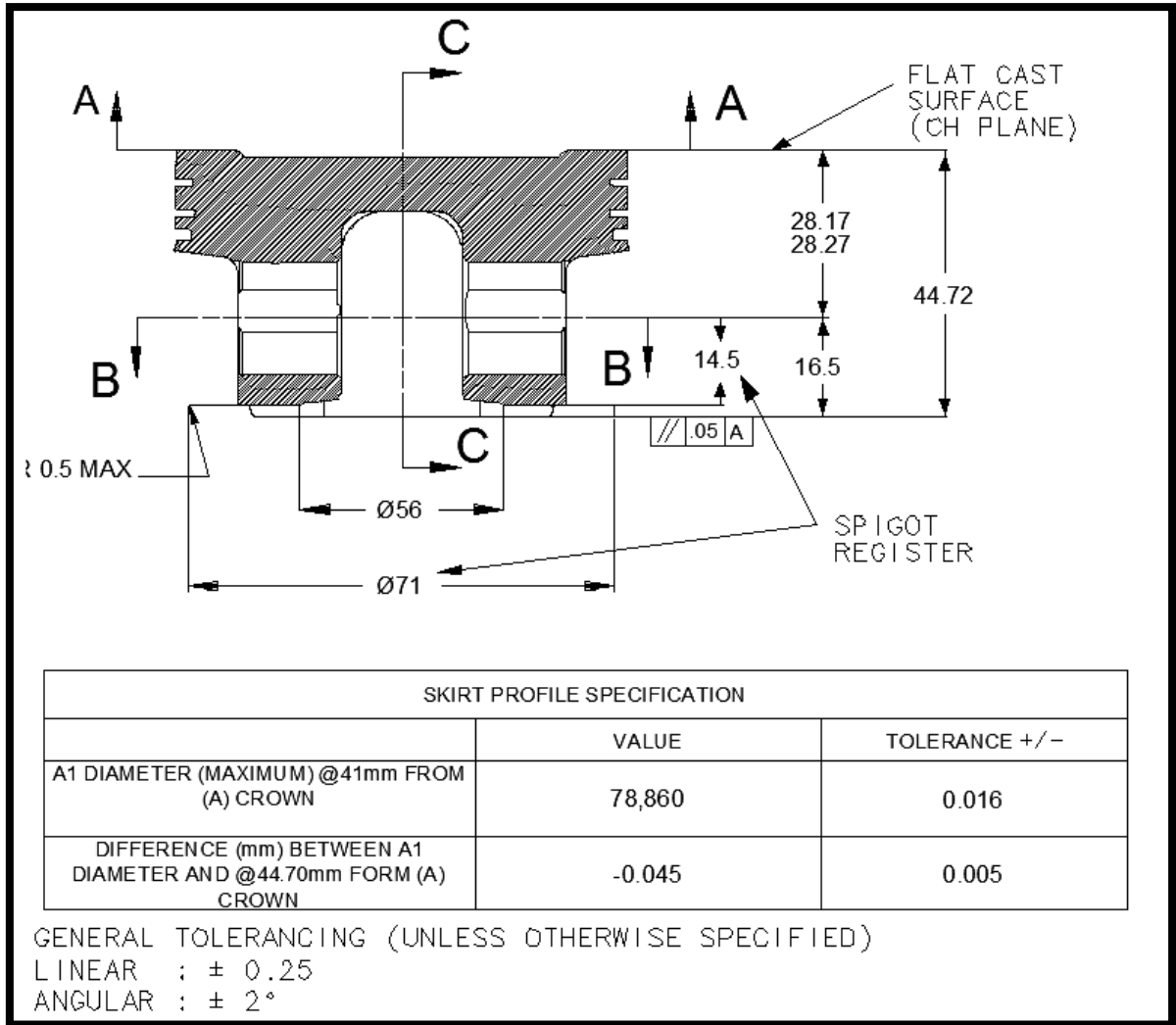


Figura 20. Plano de construcción del pistón

Las condiciones de calidad que requiere el proceso son evaluadas mediante mediciones de diámetro, profundidad, paralelismo, largo del pistón y radio de Spigot. En la tabla 3 se presenta la matriz de características del proceso de corte del pistón. Los intervalos de aceptación no son muy altos, debido a las condiciones de calidad que debe tener el producto; así como el desgaste y fricción que el pistón va a tener en el motor.

No.	Característica	Especificación (mm)			Dispositivo medición	Operaciones relacionadas
		Mínima	Media	Máxima		
1	Diámetro interno de Spigot	70.75	71	71.25	Máquina medidora por coordenadas	N/A
2	Profundidad de Spigot	1.75	2	2.25	Máquina medidora por coordenadas	N/A
3	Diámetro interno de extremo abierto de falda	55.75	56	56.25	Máquina medidora por coordenadas	N/A
4	Paralelismo de Spigot contra corona	-.05	0	.05	Vernier de alturas	N/A
5	Largo de pistón	44.47	44.72	44.97	Vernier de alturas	5 , 6
6	Radio de Spigot	0	.25	.5	Máquina medidora por coordenadas	N/A

Tabla 3. Matriz de características del pistón para gasolina 1.6 L

Las principales consecuencias de un mal corte del pistón y su potencial causa, de acuerdo a la norma ISO 16949, se presentan en la tabla 4. Los efectos de falla se presentan tanto en calidad como en el proceso, los resultados de estas fallas incluyen mal asentamiento del pistón en el cigüeñal, daño en los herramientales siguientes y vibración, entre otros.

No	Característica	Modo de falla	Efecto de falla (Critical to Quality)	Efecto de falla (Critical to Process)	Causa potencial
1	Diámetro de Spigot	Por debajo de especificación	Corte incompleto de la falda o del extremo abierto de falda	Mal asentamiento del pistón para operaciones siguientes y mediciones	Desgaste de inserto. Carga deficiente. Holgura mecánica en herramienta
2	Profundidad de Spigot	Por encima de especificación	Centrado defectuoso en planta armadora del cliente	N/A	Holgura mecánica en herramienta Mal diseño de inserto.
		Por debajo de especificación	Centrado defectuoso en planta armadora del cliente	N/A	Fundición inadecuada. Holgura mecánica en herramienta Mal diseño de inserto.
3	Diámetro interno de extremo abierto de falda	Por debajo de especificación	Colisión de pistón contra cigüeñal. Vibraciones mecánicas en motor.	N/A	Mal diseño de inserto
4	Simetría de Spigot contra corona	Por encima de especificación	Variación en alturas de compresión y localización de ranuras	Mal posicionamiento de referencia en operaciones siguientes	Incorrecto asentamiento del pistón.
		Por debajo de especificación	Variación en alturas de compresión y localización de ranuras	Mal posicionamiento en operaciones siguientes	Incorrecto asentamiento del pistón.

5	Largo de pistón	Por encima de especificación	Colisión de pistón contra cigüeñal	Daño a herramientas en siguientes operaciones por mal Datum	Incorrecta instalación de la herramienta de corte Incorrecto asentamiento del pistón.
			Variación en alturas de compresión y localización de ranuras	Mal posicionamiento de referencia en operaciones siguientes	Incorrecto asentamiento del pistón.
		Por debajo de especificación	Variación en alturas de compresión y localización de ranuras	Mal posicionamiento de referencia en operaciones siguientes	Incorrecto asentamiento del pistón.
			Vibraciones mecánicas en motor	Daño a herramientas en siguientes operaciones por mal Datum	Desgaste de inserto. Incorrecto asentamiento del pistón.
6	Radio de Spigot	Por encima de especificación	Centrado defectuoso en planta armadora del cliente	N/A	Holgura mecánica en herramienta Mal diseño de inserto.
		Por debajo de especificación	Centrado defectuoso en planta armadora del cliente	N/A	Fundición inadecuada. Holgura mecánica en herramienta Mal diseño de inserto.

Tabla 4. Análisis Modo y Efecto de Fallas, de acuerdo a la norma ISO 16949

5.3 Tiempo de operación de la línea de manufactura

En la tabla 5 se presentan los tiempos de ciclo por operación de la línea de producción. Esto permitirá identificar la operación que más tiempo ocupa dentro del proceso. Como se puede observar la operación 2, Corte de largo de pistón, maquinado de Spigot, utiliza el mayor tiempo en el proceso. Además, para esta operación solo hay disponible una máquina de un solo track, con el agravante que la mayoría tienen capacidad para maquinar 2 piezas al mismo tiempo.

Operación	# Tracks disponibles	Tiempo de ciclo (s)
1	2	8
2	1	20
3	2	14
4	2	8
5	2	15
6	2	14
7	2	16
8	2	15
9	2	12
10	1	10
11	1	8

Tabla 5. Tiempos de ciclo de línea de manufactura del pistón

Estos 20 segundos utilizado en realizar el corte del largo de la falda y el maquinado del Spigot del pistón, se pueden dividir en cuatro operaciones: posicionamiento de la herramienta, tiempo efectivo de maquinado, espera del robot y carga/descarga del robot. En la figura 21 se presenta el tiempo que demora cada una de las operaciones que forman la operación en este punto del proceso de manufactura. Como se puede observar hay cinco segundos se espera, en los cuales la máquina esta sin funcionar. Esta es una oportunidad para mejorar el proceso, sin tener que modificar los sistemas de las máquinas o del robot, únicamente con el rediseño de la ingeniería de la herramienta de corte usada.

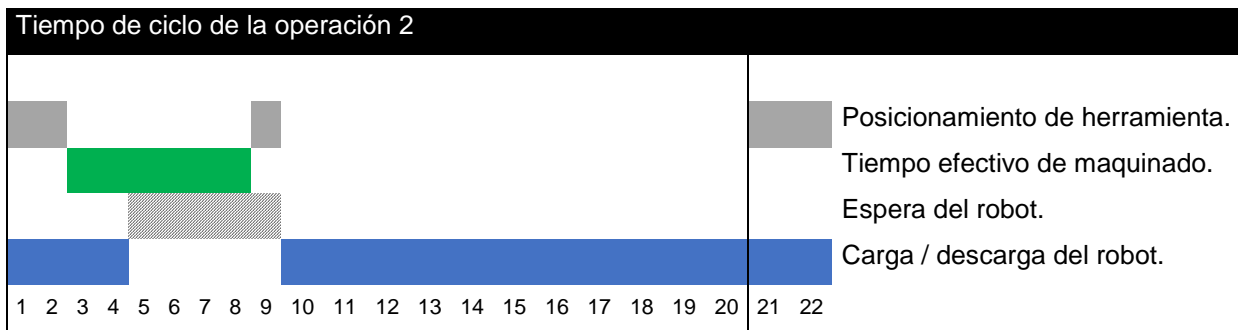


Figura 21. Tiempo de ciclo de la operación 2

5.4 Capacidad del proceso estudiado.

Es requerimiento de la norma ISO/TS16949 y del cliente, cumplir con una índice Cpk \geq 1.33 [1]

Para calcular el índice de capacidad, se tomaron 30 muestras aleatorias de pistones para 3 turnos diferentes, después de realizado el maquinado de la operación 2. Los datos se presentan en la tabla 6.

Pistón	Diámetro de Spigot	Profundidad de Spigot	Diámetro interno de externo abierto de falda	Paralelismo de Spigot vs. Corona	Largo de Pistón	Radio de Spigot
1	71.015	2.018	55.981	0.007	44.71	0.27
2	70.997	2.015	56.025	-0.005	44.72	0.27
3	71.09	1.963	55.962	0.008	44.71	0.26
4	71.068	1.964	56.041	-0.011	44.68	0.27
5	71.04	1.982	56.095	-0.005	44.64	0.28
6	70.891	1.962	56.014	0.004	44.61	0.27
7	70.957	2.025	56.112	0.013	44.77	0.26
8	71.021	2.153	55.984	0.011	44.82	0.25
9	70.946	2.091	56.025	-0.006	44.6	0.26
10	71.084	2.113	56.043	0.008	44.73	0.26

11	71.02	2.111	55.936	-0.004	44.71	0.27
12	70.889	2.105	56.103	0.009	44.68	0.26
13	71.074	2.051	55.978	0.003	44.73	0.27
14	70.893	1.997	56.063	0.007	44.71	0.25
15	70.884	1.984	55.995	0.012	44.69	0.26
16	70.94	1.994	56.011	-0.011	44.7	0.26
17	70.927	2.108	56.083	-0.009	44.64	0.25
18	70.932	2.041	55.985	-0.007	44.8	0.27
19	71.084	2.044	55.997	0.009	44.78	0.26
20	71.073	2.047	55.985	0.006	44.59	0.27
21	71.003	1.962	56.023	0.009	44.63	0.26
22	71.011	2.034	56.041	-0.011	44.68	0.27
23	71.02	2.094	56.084	-0.012	44.71	0.26
24	71.029	2.087	56.068	-0.002	44.73	0.25
25	71.035	2.121	56.063	-0.002	44.61	0.27
26	70.989	2.113	56.064	-0.009	44.58	0.27
27	70.887	1.983	56.047	-0.006	44.63	0.27
28	71.047	1.986	56.023	-0.009	44.64	0.26
29	71.014	2.103	56.035	0.006	44.72	0.26
30	71.012	2.121	56.081	0.006	44.76	0.28

Tabla 6. Características de calidad para el control de maquinado de pistón de 1.6 L en la etapa 2.

De la figura 22 a la 27 se presentan los histogramas, y los gráficos de racha utilizados para realizar el análisis de las características que debe tener el paso 2 del proceso de manufactura de pistón para motor a gasolina de 1.6 L.

5.4.1 Capacidad del proceso para “Diámetro de Spigot”

En la figura 22 se muestran los resultados, el histograma y el gráfico de racha obtenidos con el software utilizado para el control estadístico de proceso para este requerimiento específico de calidad. Se puede observar que el proceso se encuentra dentro de los límites de especificación, bajo control estadístico y que el índice Cpk tiene un valor de 1.36, el cual es superior al mínimo requerimiento de calidad.

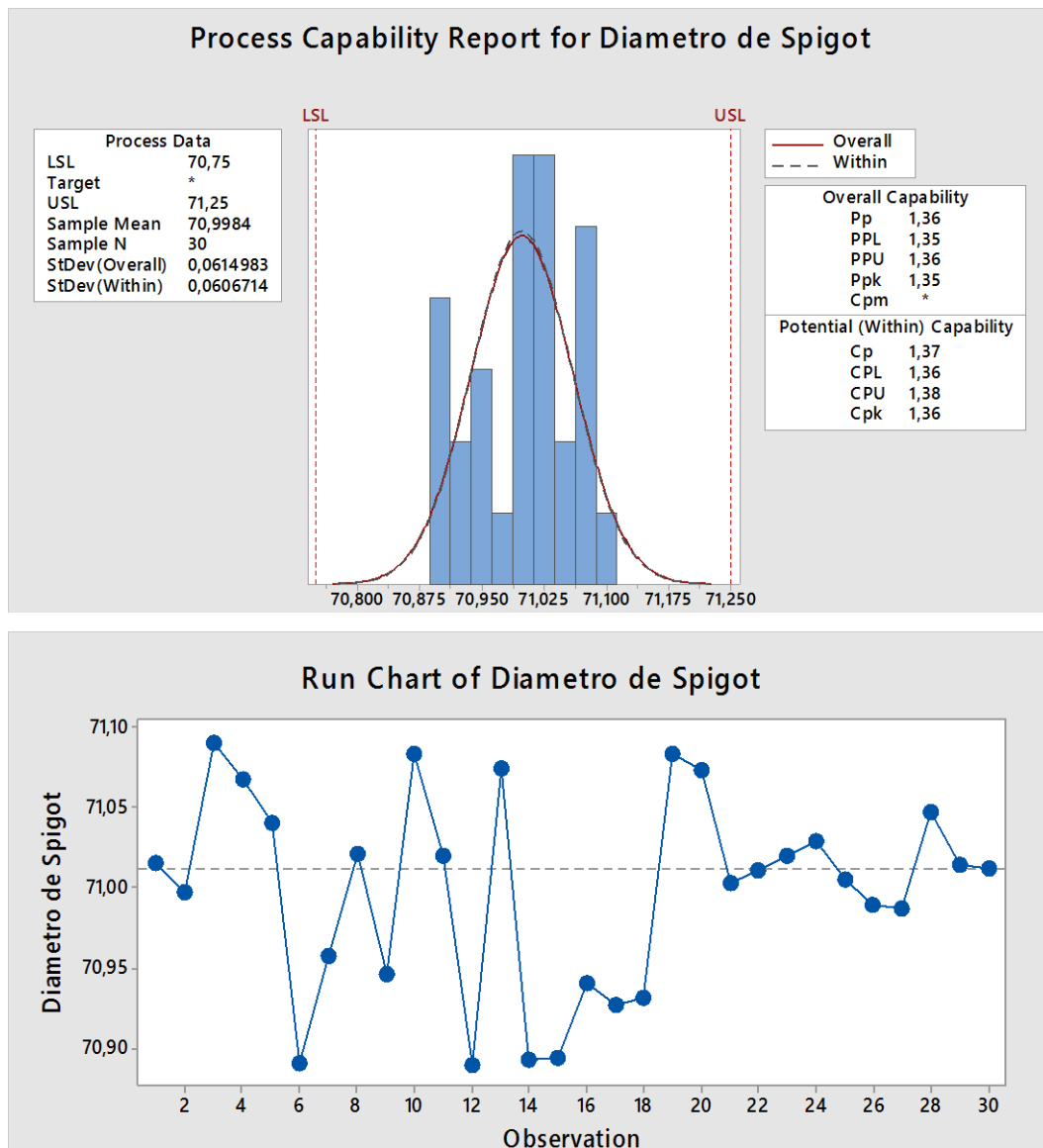


Figura 6. Reporte para Diámetro de Spigot

5.4.2 Capacidad del proceso para “Profundidad de Spigot”

En la figura 23 se muestran los resultados, el histograma y el gráfico de racha obtenidos con el software utilizado para el control estadístico de proceso para este requerimiento específico de calidad. Se puede observar que el proceso se encuentra dentro de los límites de especificación, bajo control estadístico y que el índice Cpk tiene un valor de 1.42, el cual es superior al mínimo requerimiento de calidad.

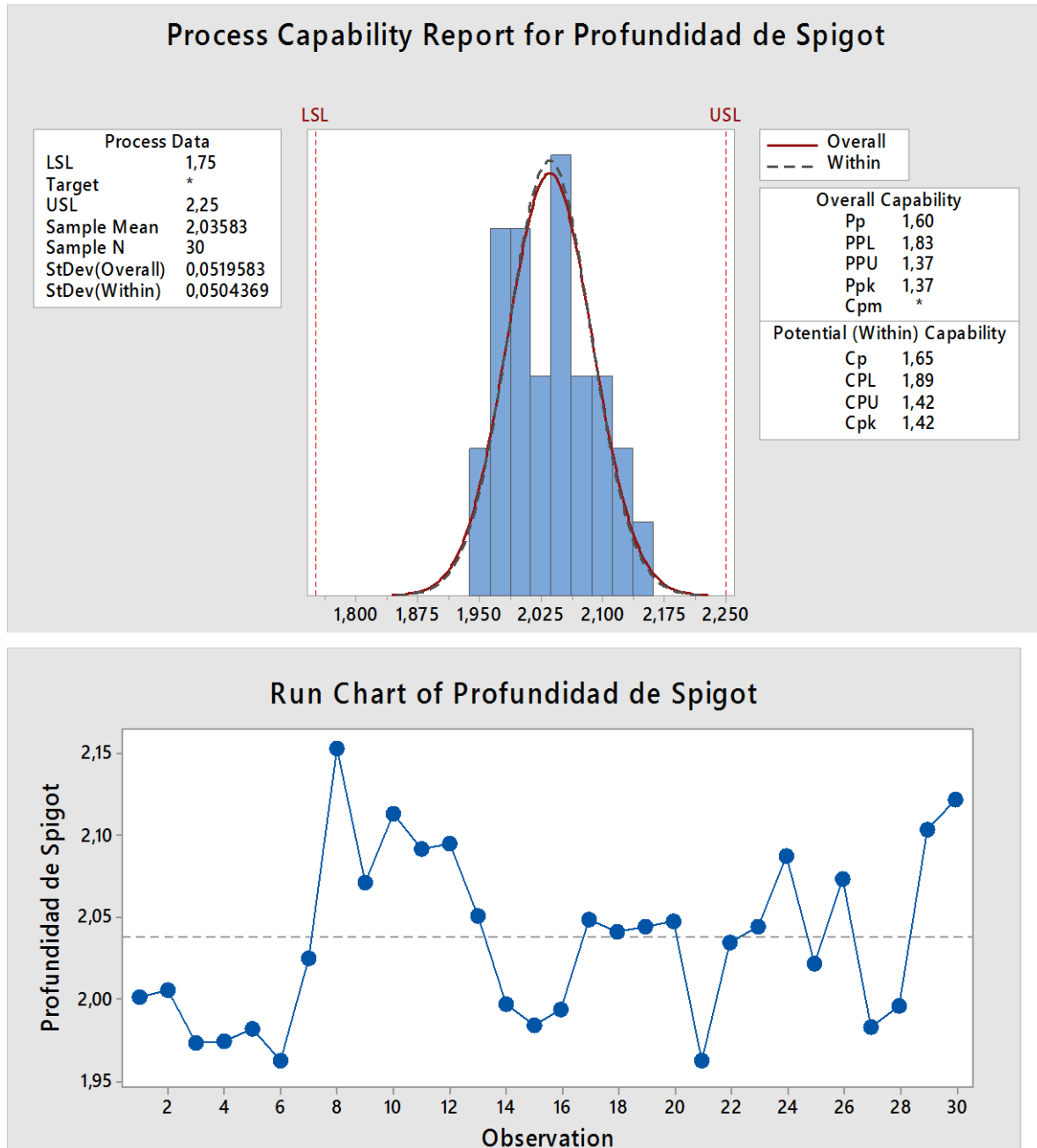


Figura 23. Reporte para Profundidad de Spigot

5.4.3 Capacidad del proceso para “Diámetro extremo abierto”

En la figura 24 se muestran los resultados, el histograma y el gráfico de racha obtenidos con el software utilizado para el control estadístico de proceso para este requerimiento específico de calidad. Se puede observar que el proceso se encuentra dentro de los límites de especificación, bajo control estadístico y que el índice Cpk tiene un valor de 1.59, el cual es superior al mínimo requerimiento de calidad.

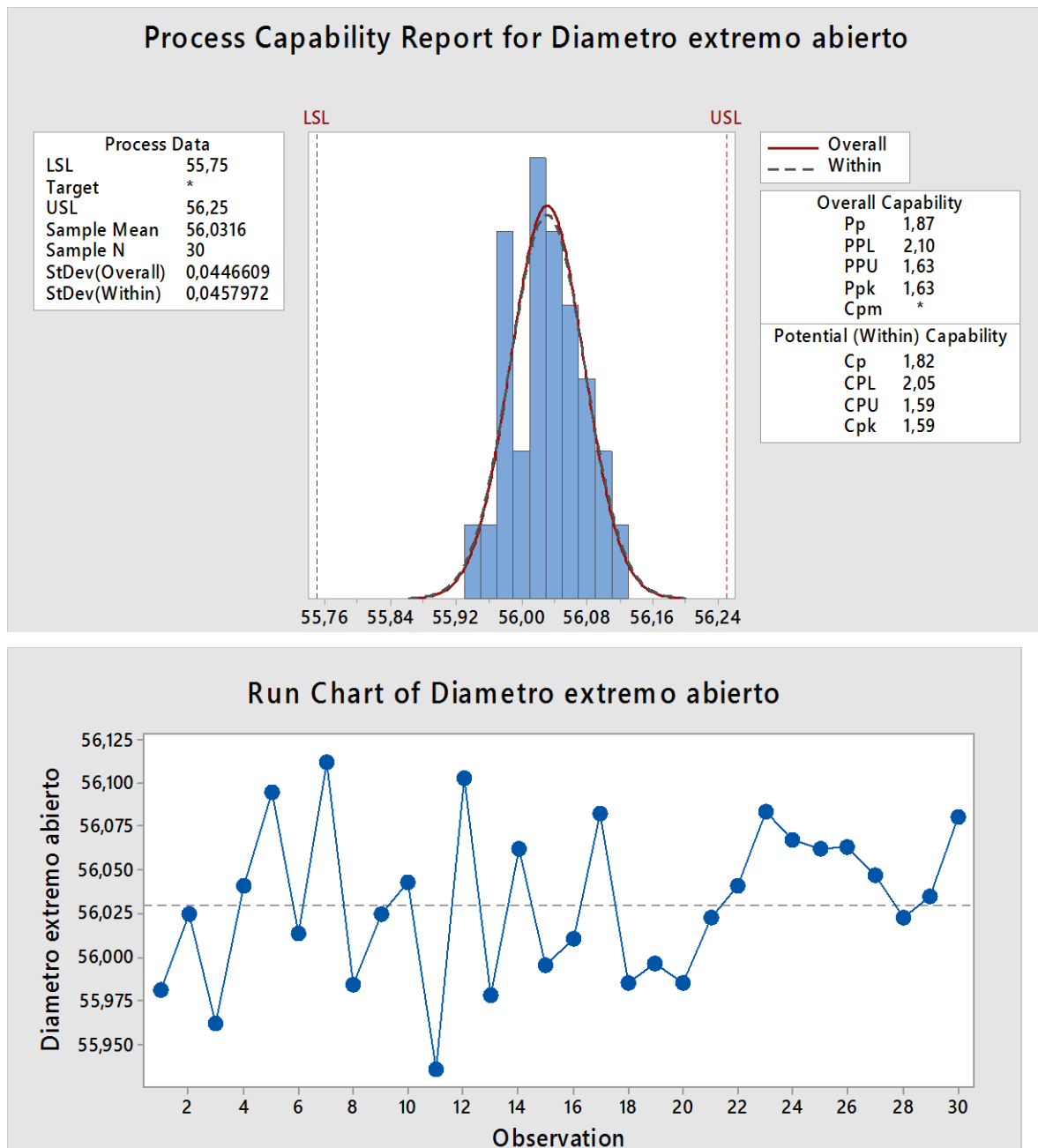


Figura 24. Reporte para Diámetro interno de externo abierto de falda

5.4.4 Capacidad del proceso para “Paralelismo”

En la figura 25 se muestran los resultados, el histograma y el gráfico de racha obtenidos con el software utilizado para el control estadístico de proceso para este requerimiento específico de calidad. Se puede observar que el proceso se encuentra dentro de los límites de especificación, bajo control estadístico y que el índice Cpk tiene un valor de 2.06, el cual es superior al mínimo requerimiento de calidad.

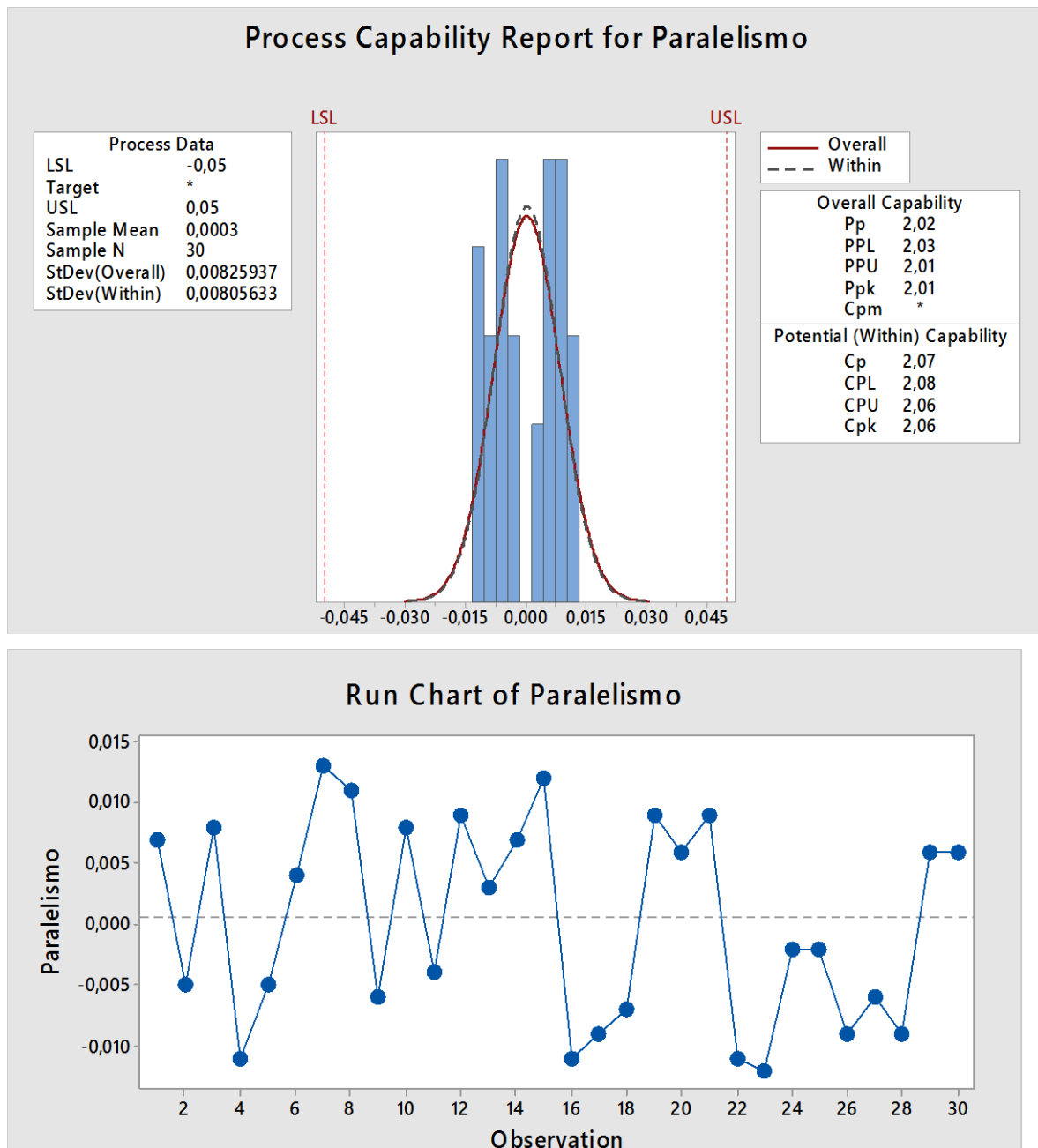


Figura 25. Reporte Paralelismo de Spigot vs. Corona

5.4.5 Capacidad del proceso para “Profundidad de Spigot”

En la figura 26 se muestran los resultados, el histograma y el gráfico de racha obtenidos con el software utilizado para el control estadístico de proceso para este requerimiento específico de calidad. Se puede observar que el proceso se encuentra dentro de los límites de especificación, bajo control estadístico y que el índice Cpk tiene un valor de 1.36, el cual es superior al mínimo requerimiento de calidad.

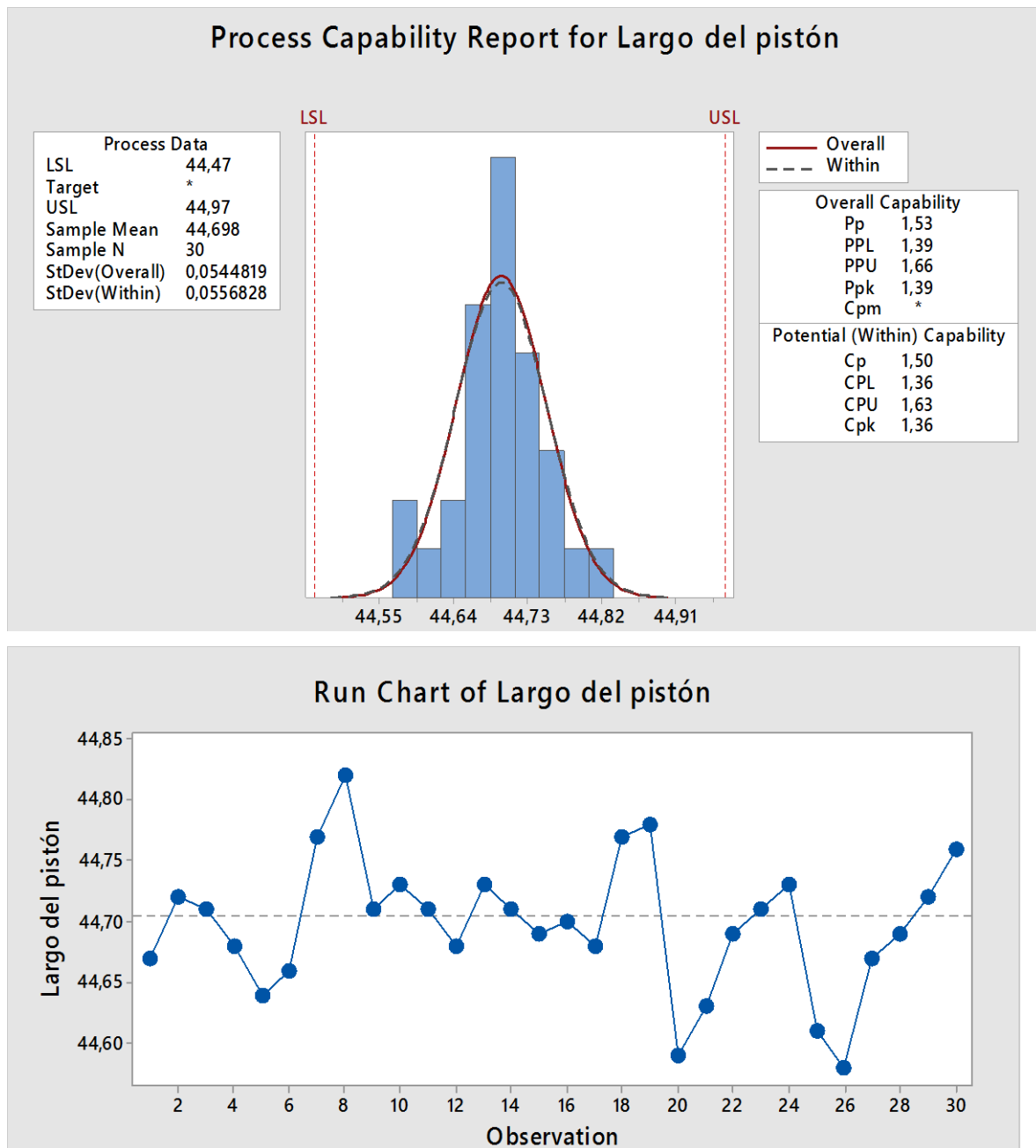


Figura 26. Reporte Largo de Pistón

5.4.6 Capacidad del proceso para “Radio de Spigot”

En la figura 23 se muestran los resultados, el histograma y el gráfico de racha obtenidos con el software utilizado para el control estadístico de proceso para este requerimiento específico de calidad. Se puede observar que el proceso se encuentra dentro de los límites de especificación, bajo control estadístico y que el índice Cpk tiene un valor de 8.28 el cual excede ampliamente al mínimo requerimiento de calidad.

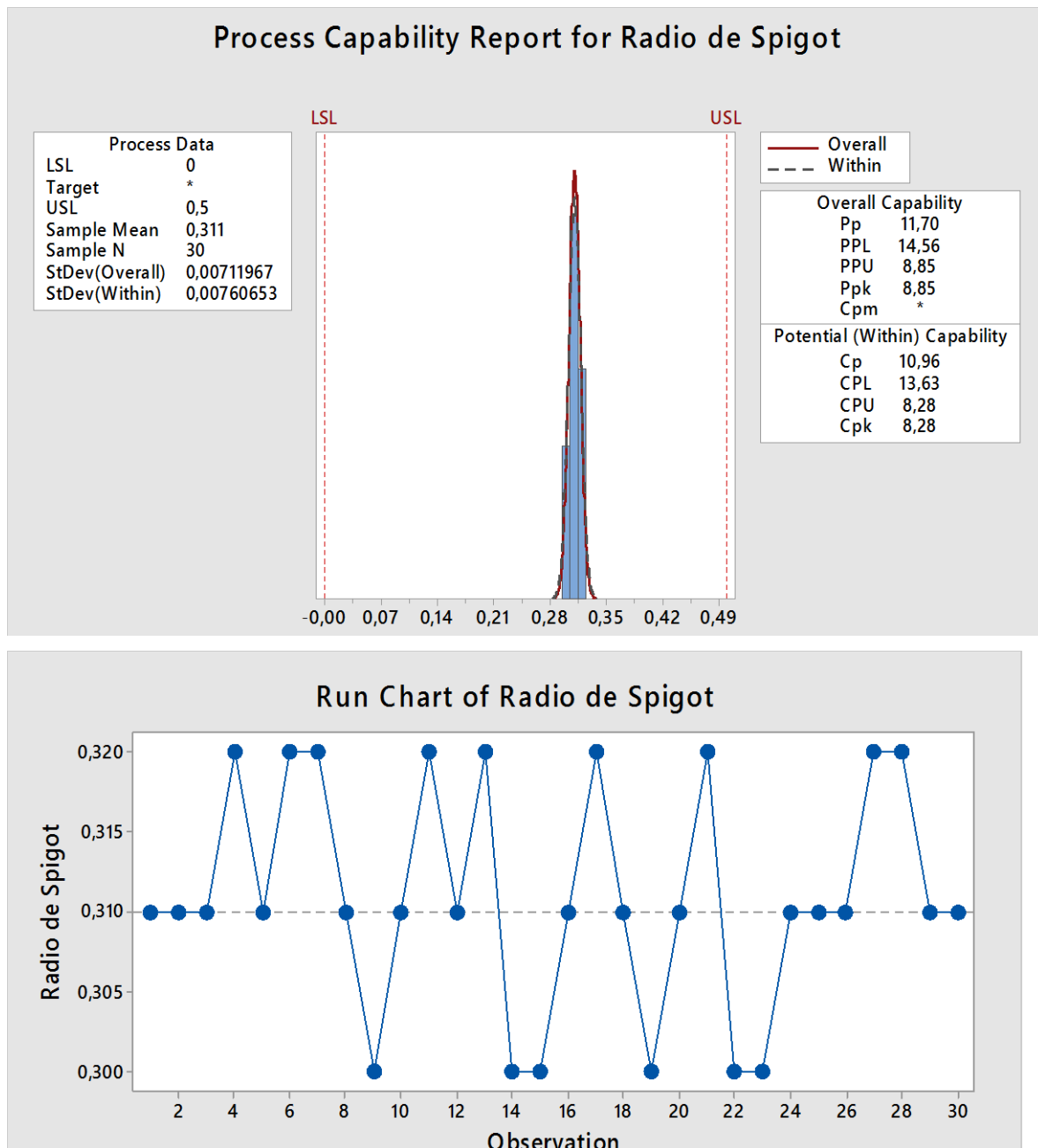


Figura 27. Reporte Radio de Spigot

En la tabla 7 se presenta el resumen de los índices Cpk, para las seis características estudiadas del proceso de corte de pistón para motor a gasolina de 1.6 L.

Nombre de la Operación	Valor Cpk
Diámetro de Spigot	1.36
Profundidad de Spigot	1.42
Diámetro interno de extremo abierto de falda	1.59
Simetría de Spigot contra corona	2.06
Largo de pistón	1.36
Radio de Spigot	8.28

Tabla 7. Resumen de los Índices Cpk para el corte de pistón

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 7, se puede concluir que actualmente el proceso de manufactura de pistones para motor a gasolina de 1.6 L está dentro de las especificaciones dimensionales y en un intervalo de confianza aprobado por el cliente. Es por ello que cualquier modificación al proceso debe conservar y tratar de mejorar la calidad del proceso.

5.5 Tiempo de cambio de herramental (Change Over)

El tiempo de cambio de herramental se define como el tiempo que transcurre desde que sale la última pieza buena de un lote anterior, hasta que sale la primera pieza buena del siguiente lote después del cambio. [13]

El objetivo primario del proyecto es diseñar la herramienta de corte, de forma tal que se haga el proceso más rápido, maximizando las actividades que agregan valor y minimizando los tiempos de cambio que no lo agregan. Al ser necesario reducir los tiempos de ciclo, se debe aprovechar al máximo el tiempo necesario para producir y utilizar menos tiempo para cambiar herramientas.

El proceso de ajuste y cambio de herramienta se realiza en los siguientes casos:

1. Fin de vida útil por desgaste
2. Fin de vida útil por ruptura por colisión
3. Cambio de formato de producto.

El la Figura 28 se presenta el proceso de preparación, ajuste y cambio de herramienta de la operación 2, Corte de largo de Pistón (Maquinado de Spigot)

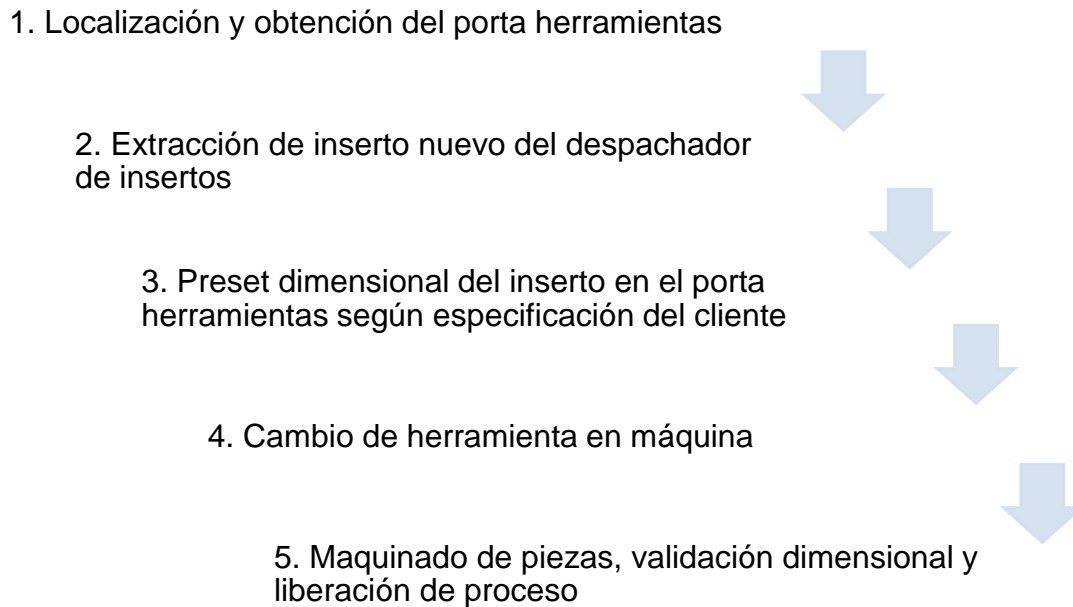


Figura 28. Proceso de preparación, ajuste y cambio de herramienta de corte.

Se realiza la determinación del tiempo que tardan los operarios en realizar el cambio de la herramienta de corte de la operación 2. En la tabla 8 se presentan los resultados. Se puede observar que se utilizan en promedio más de 9 minutos en la operación de maquinado de piezas, validación dimensional y liberación del proceso, equivalente a al 38% del tiempo del proceso en su segunda operación.

Fase	Proceso	Tiempo (min)			Prom.
		Técnico 1	Técnico 2	Técnico 3	
1	Localización y obtención del porta herramientas	2	2	2	2,0
2	Extracción de inserto nuevo del despachador de insertos	2	3	2	2,3
3	Preset dimensional del inserto en el porta herramientas según especificaciones del cliente	7	6	6	6,3
4	Cambio de herramienta en la maquina	5	4	5	4,7
5	Maquinado de piezas, validación dimensional y liberación del proceso	8	9	11	9,3
	Tiempo Total	24	24	26	24,7

Tabla 8. Tiempo de cambio de la herramienta de corte de la operación 2.

CAPÍTULO VI. DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE CORTE

El capítulo 5 inicia con los conceptos básicos sobre maquinado de piezas de aluminio, incluyendo la explicación de los movimientos realizados en este proceso. Sigue con las características básicas de la herramienta actual, además de los cálculos necesarios para diseñar un nuevo herramental y la descripción del material a utilizar.

6.1 Fundamentos del Maquinado

El maquinado o conformado por arranque de viruta es un procedimiento que permite modificar formas, dimensiones y/o el grado de acabado superficial de piezas obtenidas con otros procesos de fabricación. Esta transformación o modificación se realiza arrancando capas de metal (o creces de maquinado) que se transforman en viruta. Este tipo de operaciones suelen realizarse en piezas fabricadas mediante fundición y deformación plástica para perfeccionar sus cotas y acabado superficial [14]

6.1.1 Principales movimientos en maquinado

En la figura 29 se presentan los tres tipos principales de movimiento que puede tener la maquina en el proceso de maquinado de piezas metálicas, se resumen en movimiento de corte, de avance y de penetración.

- **Movimiento de Corte:** es el responsable del proceso de eliminación del material. Lo puede realizar la pieza o la herramienta. Este movimiento consume la mayor parte de la potencia necesaria para realizar el trabajo. Aunque en muchas máquinas el movimiento de corte se asocia con el giro de la pieza (torno) o con el giro de la herramienta (fresa), en algunos casos no es un movimiento de giro (brochado, cepillado o limado) [14]

- **Movimiento de Avance:** permite que en la zona de corte haya nuevas partes de la pieza a maquinar hasta que se completa la operación o la pasada correspondiente. Lo puede

realizar la pieza o la herramienta. Pueden existir varios movimientos de avance simultáneos. [14]

- Movimiento de Penetración: asegura la interferencia entre la pieza y la herramienta, para que pueda existir la eliminación del material, y asegura que la pieza tenga la dimensión adecuada después de cada pasada.

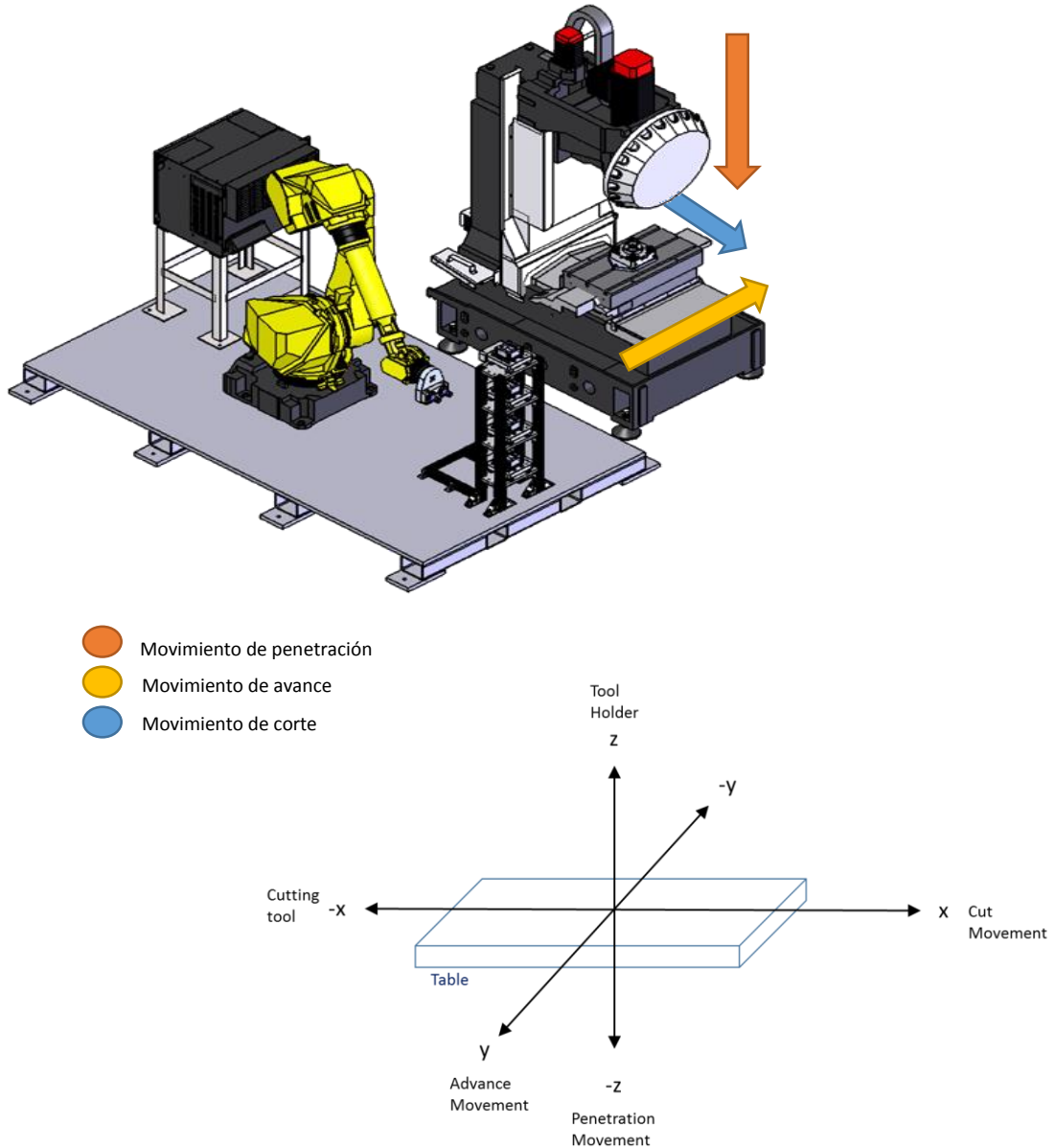


Figura 29. Diagrama de movimientos de maquinado.

6.2 Características la herramienta de corte

La herramienta que actualmente se ocupa en la operación de corte de largo de pistón y maquinado de Spigot, consta de 2 insertos reemplazables sobre un portaherramientas de diámetro aproximadamente igual al ancho de los 2 insertos, como se aprecia en la figura 30. Esta herramienta gira sobre su propio eje e interpola sobre el pistón para darle la altura final y maquina el Spigot, figura 31.

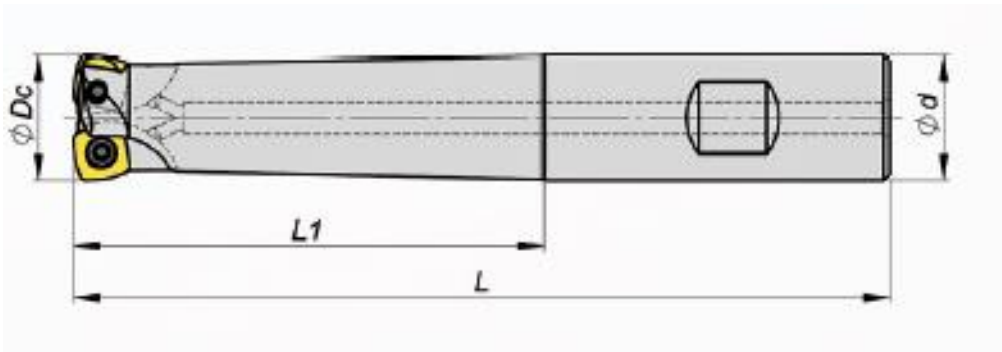


Figura 30. Diseño CAD de la herramienta de corte actual.

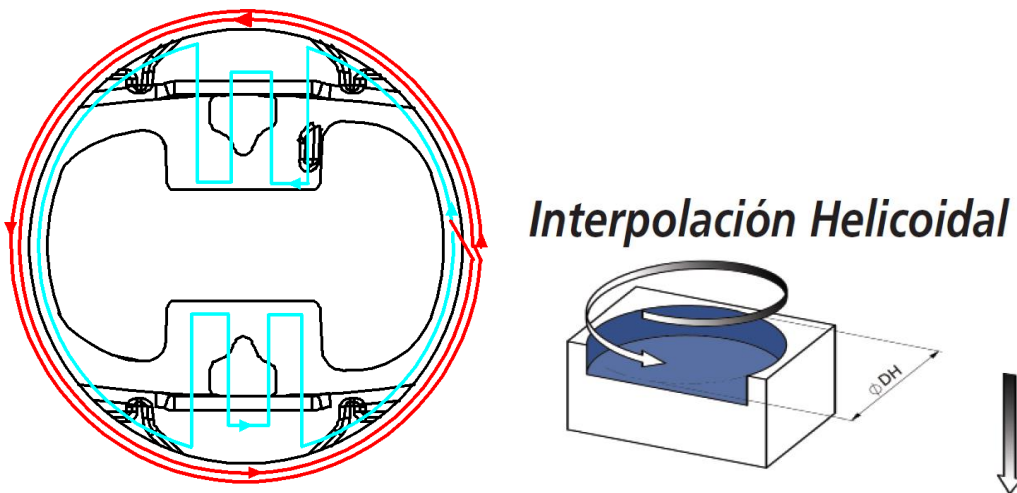


Figura 31. Trayectoria de la herramienta de corte: Rojo – Maquinado de Altura, Cian – Maquinado de Spigot y su tipo de interpolación

Desventajas de la herramienta usada hasta la fecha:

1	Al ser de sujeción mecánica, los insertos y el portaherramientas dejan una luz de distancia que provoca variación en el proceso.
2	El tiempo para hacer el ajuste de los insertos, maquinar una pieza, medirla, realizar el ajuste de posición en el programa CNC de la máquina, volver a maquinar una nueva pieza, medirla y de ser correcto, liberar proceso es tiempo muerto que debe ser reducido.
3	El tiempo de ciclo es largo y provoca un cuello de botella en el proceso debido a la trayectoria que tiene que recorrer la herramienta para hacer el maquinado.
4	Durante la trayectoria, la maquina hace varios cambios de dirección, lo cual puede provocar variación en el proceso debido al <i>backlash</i> natural de los mecanismos de la máquina.

Tabla 9. Desventajas de la herramienta usada hasta la fecha.

6.2.1 Condiciones para la nueva herramienta a diseñar

La herramienta que se pretende diseñar, debe ser capaz de reducir el tiempo efectivo de maquinado dentro de la operación de corte de largo y maquinado de Spigot, para ello se busca que los insertos puedan cortar el largo del pistón y el Spigot simultáneamente, evitando así la interpolación de la herramienta. Esto se consigue diseñando los insertos con la forma requerida para el pistón, para que en el momento de corte de la superficie, cumpla con las especificaciones dimensionales sin realizar mayor trayectoria.

Los insertos serán soldados al portaherramientas evitando así la labor de ajuste de los insertos reemplazables. Estos insertos soldados, una vez acabado el filo, se pueden reemplazar por el proveedor haciendo posible la reutilización del portaherramientas. En la figura 32 se presenta la vista lateral de la herramienta diseñada y en la figura 33 la vista inferior con su trayectoria.

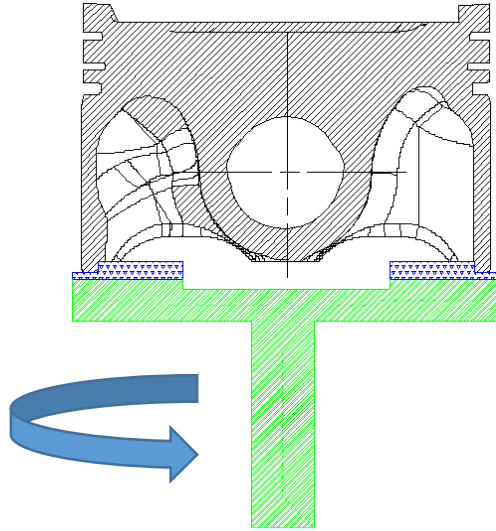


Figura 32. Concepto de la herramienta de corte, se muestra su forma para cumplir con la especificación dimensional sin interpolación. Azul – insertos (2), Verde – Portaherramientas.

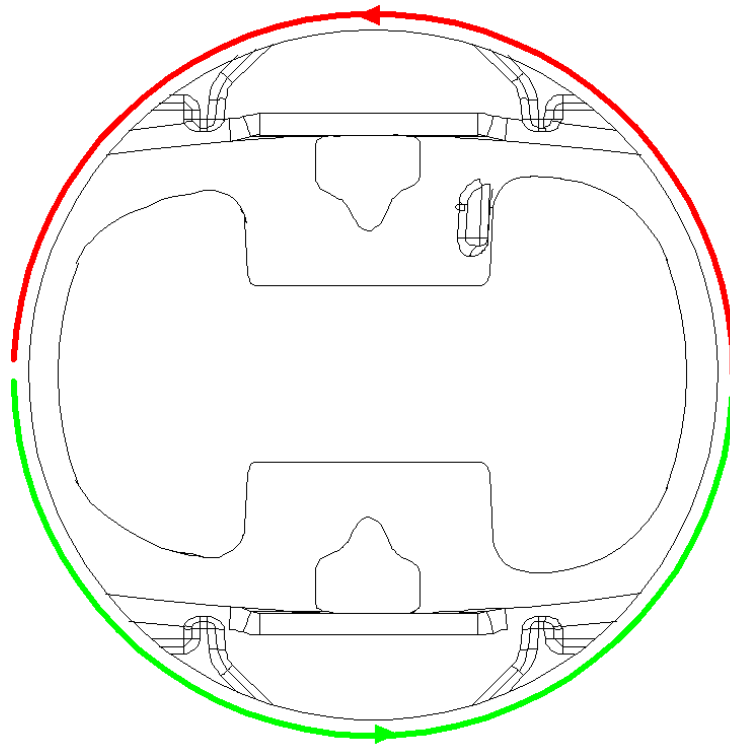


Figura 33. Trayectoria de los insertos en la nueva herramienta por revolución. Rojo inserto A, Verde inserto B

6.3 Cálculos para el diseño de la herramienta de corte

El tipo de corte que se emplea para el corte de largo de pistón y maquinado de Spigot es un corte tipo ortogonal. Se trata de un corte ortogonal cuando el filo de la herramienta es perpendicular a la velocidad relativa herramienta-pieza.

Gracias al modelo de corte ortogonal podemos simplificar procesos complejos que tienen lugar en las tres dimensiones a procesos que tienen lugar en un hipotético plano bidimensional. La geometría del corte ortogonal viene definida por parámetros característicos que son de gran influencia, como son:

- Ángulo de desprendimiento (γ): Es el ángulo formado por la cara de desprendimiento de la herramienta y la dirección perpendicular a la superficie mecanizada. Este ángulo puede tener un sentido positivo si es como en la figura 24 (en sentido horario) o sentido negativo, si es en sentido contrario. Cuanto más positivo es este ángulo menor es el rozamiento entre la viruta y la herramienta. Por el contrario cuanto más negativo es aumenta la robustez de la herramienta. La elección de este ángulo depende del tipo de viruta que se forma:
 - Viruta continua (en forma de hélice). Típicas de materiales tenaces (aceros dulces, aluminios, aleaciones ligeras). Existe mayor rozamiento con la cara de desprendimiento, se produce mayor calor. Para reducir este efecto se suele trabajar con ángulos grandes ($10^\circ - 40^\circ$).
 - Viruta discontinua. Típicas de materiales duros y/o frágiles. Generan menos rozamiento ($0^\circ - 10^\circ$). El tipo de viruta que genera la operación de corte de largo de pistón y maquinado de Spigot es de tipo continua.
- Ángulo de incidencia (α): Es el ángulo formado por la cara de incidencia de la herramienta y la superficie de la pieza ya mecanizada. Si el valor del ángulo de incidencia disminuye aumentará el contacto existente entre la herramienta y la pieza, como consecuencia aumentará también la temperatura y disminuirá la vida de la herramienta. Por el contrario si el valor del ángulo de incidencia aumenta se

debilitará el filo de la herramienta. Una vez que se ha conseguido que la herramienta no contacte con la cara mecanizada, no tiene sentido seguir aumentando este ángulo. Valores habituales para aluminio entre 6°-14°;

- Ángulo de filo (β): Es el ángulo formado por las caras de incidencia y desprendimiento de la herramienta. Éste ángulo depende de los anteriores, y no debe ser demasiado pequeño para asegurar la integridad de la herramienta: La relación entre el ángulo de incidencia y el ángulo de filo se muestra con la siguiente ecuación:

$$\beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma)$$

Siendo: $\alpha = 10^\circ$

$$\gamma = 15^\circ$$

Entonces:

$$\beta = 90^\circ - (15^\circ + 10^\circ)$$

$$\beta = 65^\circ$$

- Espesor de viruta no deformada (a_c): Es el espesor del material que va a ser eliminado antes de sufrir deformación alguna. En la figura 34 se presentan los principales parámetros anteriormente mencionados.

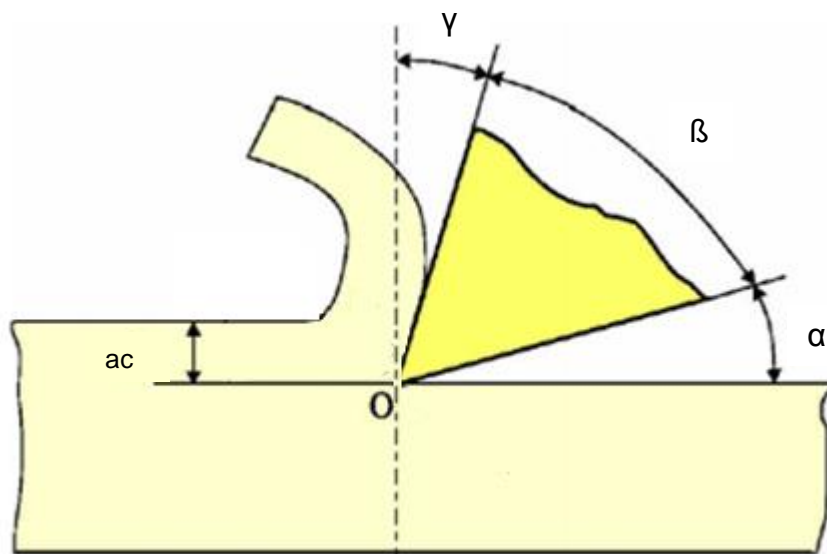


Figura 34. Principales parámetros de corte ortogonal.

A continuación se muestra la tabla 9 que presenta los regímenes recomendados para maquinado.

Material de Trabajo	Velocidad de Corte (m/min)	Velocidad barrenado (mm/rev)	Profundidad de Corte (mm)
Aleaciones de Aluminio	1000-3000	0.1 – 0.4	5
<12% Si			
>12% Si	200-600	0.1 – 0.4	1
Matrices compuestas con metales	150-160	0.1 – 0.4	0.5
Latón	600-2000	0.1-0.4	1.5
Plástico Duro	1000-7000	0.1-0.7	2.5
Plástico de fibra de carbón reforzado	500-2000	0.05-0.4	4
Carburo de Tungsteno 10% Co	40-60	0.05-0.2	0.5
Metales preciosos	100-500	0.05-0.4	1.5

Tabla 10. Regímenes recomendados para maquinado. [18]

6.3.1 Velocidad de corte

Es la velocidad relativa instantánea con la que una herramienta (en máquinas tales como máquinas de fresado, tornos) se enfrenta el material para ser eliminado, es decir, la velocidad del movimiento de corte. Se calcula a partir de la trayectoria recorrida por la herramienta o la pieza de trabajo en la dirección de alimentación en un minuto. Se expresa en metros por minuto.

$$V_c = (n)(p)$$

Dónde:

n: número de revoluciones [1/min].

Tomado de los parámetros de proceso recomendados por el fabricante de la máquina (Robodrill), Figura 35.

p: perímetro de la pieza, usando el diámetro obtenido del plano de dimensiones del pistón después del proceso de fundición. Figura 36

$$p = (79.250)(\pi)$$

$$V_c = (5000)(79.250)(\pi) = 1244856.09 \text{ mm/min}$$

$$V_c = 20747.60 \text{ mm /seg}$$

$$V_c = 20.74760 \text{ m /seg}$$

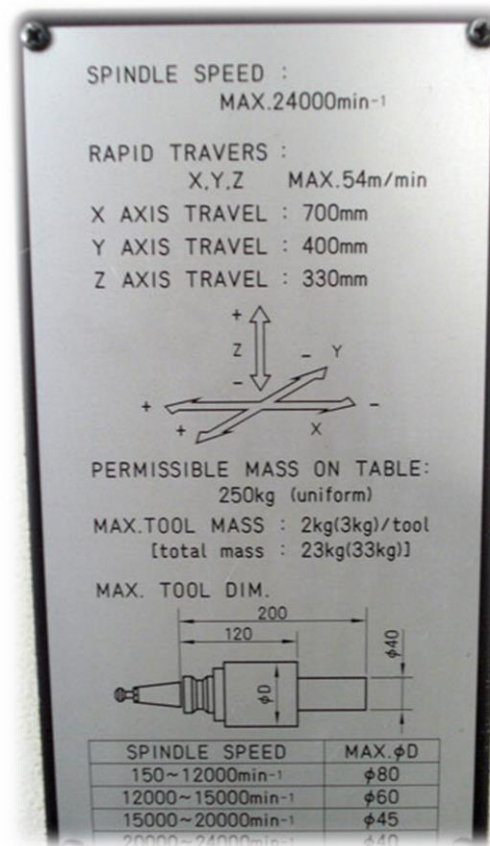


Figura 35. Placa de especificaciones dimensionales, de velocidad y de peso de la máquina de operación “Corte de largo de pistón y Maquinado de Spigot” Robodrill DDR260iB

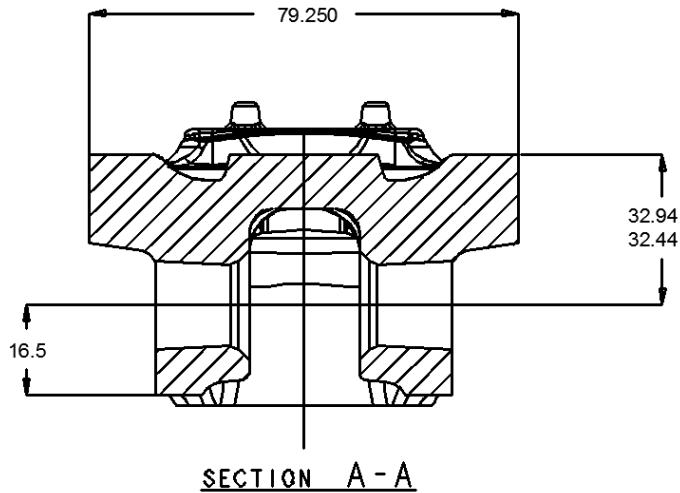


Figura 36. Plano de dimensiones de pistón después del proceso de fundición.

6.3.2 Profundidad del corte (d)

Para obtener la profundidad del corte, es necesario saber que altura tiene el pistón antes de la operación de corte de largo, es decir, después del proceso de fundición. Para ello, se recurre al plano de construcción de fundición, de dónde se extrae la siguiente especificación:

Comparando las dimensiones del pistón después de fundición y la especificación dimensional requerida por el cliente, se puede obtener que la profundidad del corte es de 2 mm.

6.3.3 Tiempo de corte (t)

Esta herramienta de corte se diseña con el propósito de reducir el tiempo de ciclo en la operación de corte de largo de pistón y maquinado de Spigot.

De acuerdo a la tabla 5, el tiempo de ciclo de cada paso que se realiza en la operación, el tiempo de espera del robot de carga y descarga mientras la pieza está siendo maquinada, es actualmente de 4 segundos. Lo que se pretende es reducir el tiempo

efectivo de maquinado, de forma tal, que se elimine el tiempo de espera del robot debido al maquinado, (no al posicionamiento de las herramientas). Para reducir la espera del robot, debido al maquinado, el tiempo de corte de la pieza deberá ser de 2 segundos.

6.3.4 Avance (f)

El avance de la herramienta viene derivada del tiempo del tiempo de corte requerido. El avance es la distancia que avanza la herramienta de corte a lo largo de la pieza de trabajo por cada revolución del husillo. Se requiere cortar 2 mm en 2 segundos, por lo tanto, se corta 1 mm en 1 segundo. [16]

El husillo gira a 5000 RPM, esto es, 83.334 revoluciones por segundo, tiempo en el que se corta 1 mm, entonces se deduce que en cada revolución se cortan 0.0120 mm. Por lo tanto avance (f) = 0.0119 mm

6.4 Materiales de la herramienta de corte

Según a la Aprobación de Primera Parte de Producción (PPAP) hecha por el cliente, la cual auditó y firmó el representante del mismo en conformidad y en la cual se encuentra el libro de proceso, hojas de proceso y hojas de parámetros de proceso; el material acordado para el proceso de corte en este pistón es el diamante policristalino (PCD) tipo UD30, que cumple con la especificación de acabado de material requerida por el cliente. Este material de corte no puede ser sustituido, sin hacer previamente un proceso de cambio en el sistema de gestión de calidad del número de parte y nueva aprobación del cliente, lo cual no es el alcance de este proyecto, por lo tanto, se utilizará el mismo tipo de material de corte.

La información de los materiales de corte, de apoyo del filo y del cuerpo de la herramienta, es proporcionada por el proveedor de herramientas de corte de la empresa, quien es el encargado de llevar a cabo la manufactura de prototipos y de la mayoría de herramientas requeridas para el proceso de producción de maquinado de pistones de aluminio. A continuación se realiza una breve reseña del proveedor.

6.4.1 Urgeles Diamant S.L.

URGELES DIAMANT. S.L. fue creada el año 1964 en Mataró, España por Jordi Urgeles dedicándose desde el primer momento a la fabricación de herramientas de diamante natural, en aquellos tiempos, único material ultra duro conocido para el mecanizado de materiales no férricos. En el 1985 inicia la fabricación de herramientas con policristalino de PCD y CBN convirtiéndose de esta forma en la primera empresa española en la producción de herramientas ultra duras, especialmente para el sector de la automoción. [19]

Es a partir del año 1983 que inicia su actividad exportadora, básicamente a EEUU, para ir incorporando posteriormente diversos clientes en todos países, con una clara mentalidad de internacionalización.

En el año 2003 nace URGELES MEXICANA instalada en Puebla que con el tiempo se ha convertido en una segunda planta de producción, complementaria de la principal, que sigue siendo en Mataró (Barcelona), España. [19]

6.4.2 Diamante y PCD

El material más duro conocido es el diamante natura monocristalino, y casi tan duro es el diamante policristalino sintético (PCD). Su elevada dureza le confiere una elevada resistencia al desgaste por abrasión, por lo que se utiliza para muelas de abrasión. Esta dureza hace que también sea muy frágil, rompiéndose fácilmente bajo el efecto de impactos. El PCD es un material relativamente nuevo introducido en los años 70. Hoy en día es utilizado para torneado y fresado especialmente en aleaciones abrasivas de aluminio y silicio, cuando se busca buen acabado superficial y precisión. [20]

El diamante es químicamente inerte en ácidos orgánicos, pero a altas temperaturas reacciona con los carburos de Fe, Ni, Co, etc. Esta reactividad es de gran importancia en los procesos de maquinado y rectificado. La conductividad térmica es muy elevada,

llegando en algunos casos hasta 5 veces la del cobre a temperatura ambiente. En cuanto a su conductividad eléctrica el diamante actúa como aislante. [20]

El objetivo básico en la síntesis del diamante PCD es transformar la estructura hexagonal en una estructura cubica de elevada dureza. Esta síntesis se produce mediante una técnica a base de altas presiones y altas temperaturas de forma estática o mediante un proceso dinámico como el de explosión. En este proceso el grafito de estructura hexagonal se transforma en diamante, como se muestra en la figura 28. [20]

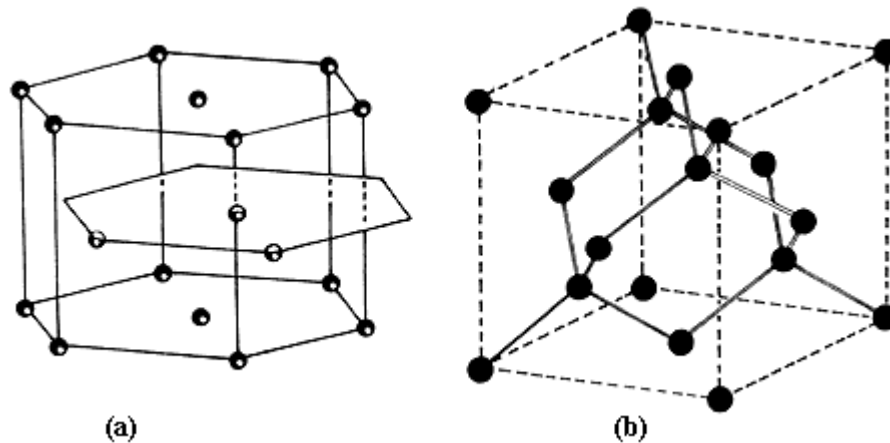


Figura 37. Comparación de estructuras. A) Estructura de grafito. B) Estructura de diamante. [20]

Las pequeñas placas de PCD son soldadas a placas de metal duro, mediante soldadura fuerte empleando aleaciones de plata, lo que permite que se incremente su resistencia a los impactos. La vida de esta herramienta puede ser 100 veces superior a las de metal duro. [20]

El desarrollo de nuevos materiales para herramientas de corte ha permitido el incremento en la velocidad de corte, lo cual se refleja en un incremento notable en la productividad.

6.5 Cuerpo de la herramienta de corte

El maquinado de alta velocidad requiere altas precisiones de concentricidad de la herramienta de corte con el fin de evitar errores y aumentar la seguridad del proceso en

el maquinado a altas revoluciones de corte.

Es necesario que el cuerpo de la herramienta de corte sea de un material pesado y resistente, con un alma de gran diámetro, ya que esto brindará mayor estabilidad a la herramienta, reduce las vibraciones y el riesgo de mellado de los filos. Menor flexión y una mejor tolerancia de la pieza maquinada.

De acuerdo a las propiedades mecánicas, el acero AISI 4140 es un acero aleado al Cromo-Molibdeno de buena penetración de temple y con buenas características de estabilidad en caliente, sin fragilidad de revenido, muy versátil y apto para esfuerzos de fatiga y torsión.

Puede ser endurecido superficialmente por temple directo (a la llama o por inducción) obteniendo durezas de 57-62 Rockwell C.

De acuerdo a lo anterior, el material seleccionado tiene las siguientes características (tabla 11):

Dureza, Brinell	197	197	
Dureza, Knoop	219	291	Convertida de dureza Brinell
Dureza, Rockwell B	92	92	Convertida de dureza Brinell
Dureza, Rockwell C	13	13	Convertida de dureza Brinell. Valor bajo lo normal. Solo para propósito de comparación
Dureza, Vickers	207	207	Convertida de dureza Brinell
Fuerza Extensible, Última	655 Mpa	95000 psi	
Fuerza Extensible, Rendimiento	415 Mpa	60200 psi	
Elongación al freno	25.7 %	25.7%	en 50 mm
Reducción de Área	56.9 %	56.9%	
Módulo de elasticidad	205 Gpa	29700 ksi	Típico para acero

Módulo de Masa	140 Gpa	20300 ksi	Típico para acero
Relación Poisson	0.29	0.29	Calculado
Maquinabilidad	65%	65%	Basado en AISI 1212 como 100% de maquinabilidad
Módulo de Cizalla	80 Gpa	11600 ksi	

Tabla 11. Propiedades del acero AISI 4140. (Matweb.com)

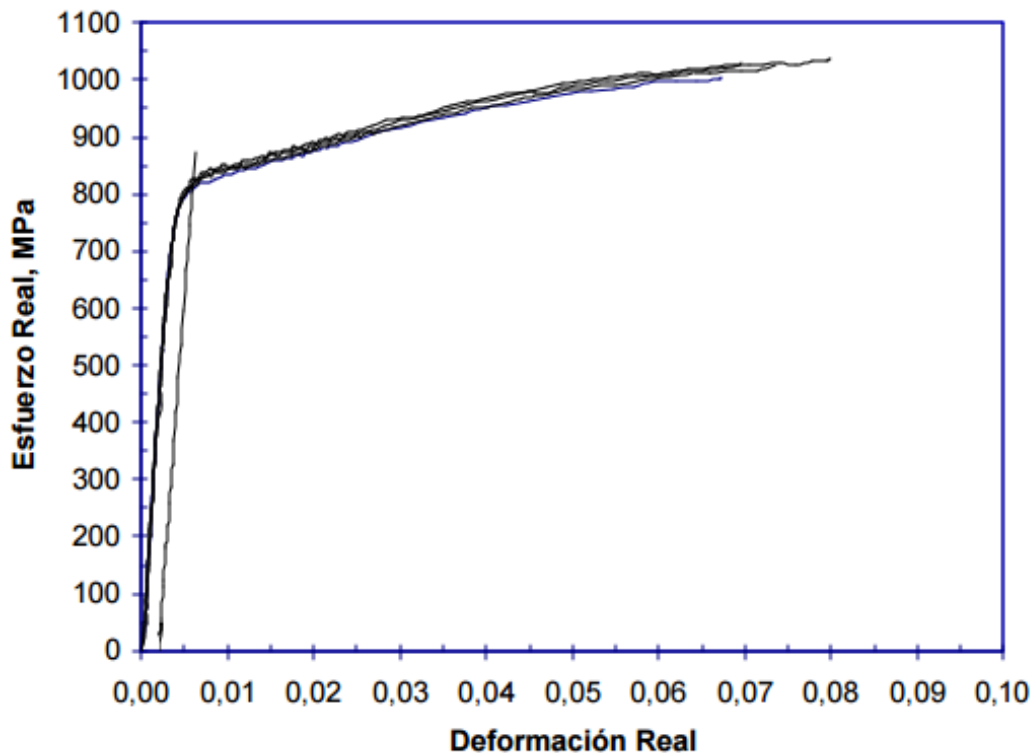


Figura 38. Diagrama esfuerzo – deformación para el acero AISI 4140

6.6 Plano de construcción de la herramienta

Cumpliendo con las especificaciones requeridas por la máquina (para el portaherramientas) y por el pistón (para el diseño de los insertos), así como los ángulos calculados previamente, a continuación se muestra el plano de construcción de la herramienta para entregarla a proveedor para su manufactura. (Figura 39, Ver Anexo 1 para más detalle.).

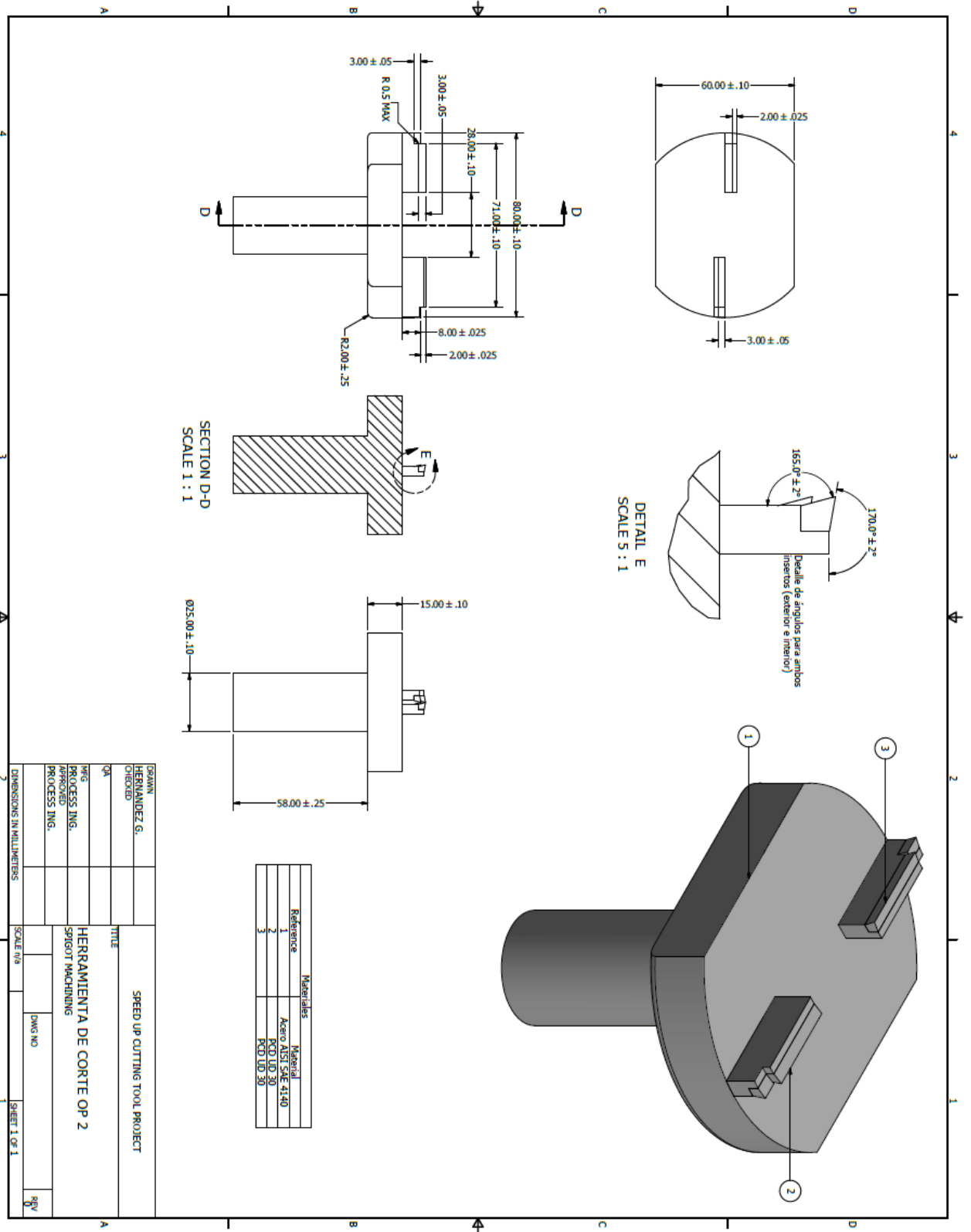


Figura 39. Plano de la herramienta de corte diseñada.

6.7 Modelo 3D de la herramienta.

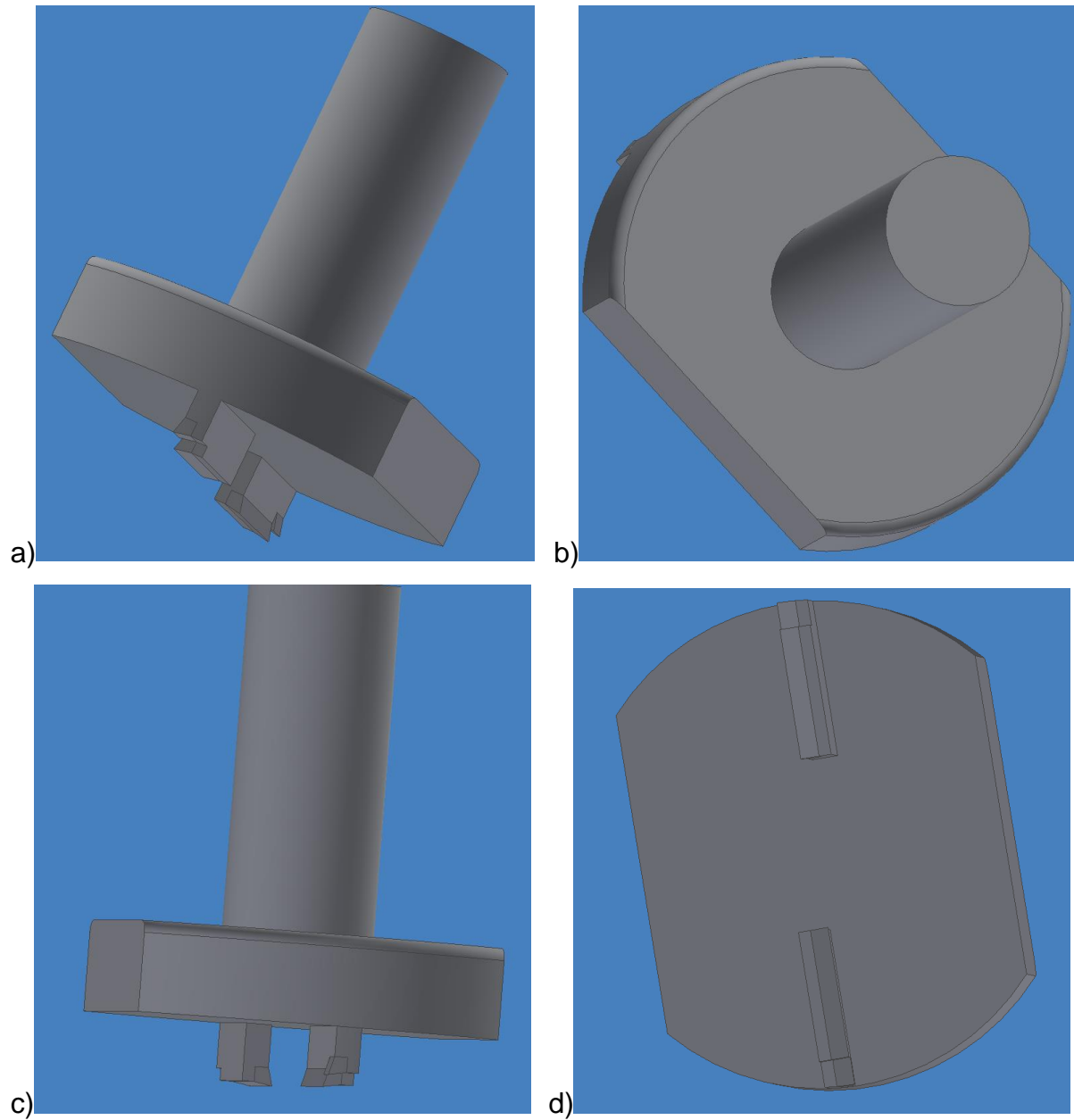


Figura 40. Modelo 3D de la herramienta de corte. a) Vista lateral derecha. b) vista superior. c) vista lateral izquierda. d)Vista inferior.

CAPÍTULO VII. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL HERRAMENTAL DISEÑADO

Una vez que la herramienta de corte se ha fabricado, se instaló en la máquina de Operación 2, Corte de largo de Pistón y Maquinado de Spigot y se realiza un try-out en el cual se maquinan 30 piezas hasta esta operación, las cuales se miden en el laboratorio. En la tabla 13 se muestran los resultados obtenidos de dichas mediciones.

No. Pistón	Diámetro de Spigot	Profundidad de Spigot	Diámetro interno de extremo abierto de falda	Paralelismo de Spigot vs corona	Largo del pistón	Radio de Spigot
1	71.021	2.003	56.031	0.003	44.721	0.2
2	70.987	2.003	55.957	-0.006	44.631	0.2
3	70.993	2.003	55.937	0.008	44.694	0.2
4	71.013	2.004	56.017	0.005	44.715	0.2
5	71.011	2.003	56.085	0.004	44.706	0.2
6	71.004	2.003	55.945	-0.006	44.728	0.2
7	71.011	2.003	56.037	-0.005	44.678	0.2
8	71.007	2.004	56.059	0.005	44.716	0.2
9	71.001	2.003	56.043	0.004	44.692	0.2
10	70.996	2.003	56.095	-0.006	44.729	0.2
11	71.003	2.003	56.028	0.003	44.691	0.2
12	70.988	2.004	56.015	0.003	44.711	0.2
13	70.997	2.003	55.975	-0.004	44.641	0.2
14	71.012	2.003	56.057	0.003	44.547	0.2
15	71.009	2.003	56.043	-0.002	44.719	0.2
16	71.002	2.004	55.985	0.005	44.705	0.2
17	70.989	2.003	55.981	0.003	44.711	0.2
18	71.005	2.003	56.036	0.004	44.701	0.2

19	70.998	2.003	56.014	-0.004	44.655	0.2
20	71	2.003	55.988	0.005	44.691	0.2
21	70.987	2.003	56.041	0.002	44.726	0.2
22	70.997	2.003	56.021	-0.003	44.702	0.2
23	71.004	2.003	55.989	0.001	44.714	0.2
24	71.001	2.003	55.981	0.004	44.717	0.2
25	71.011	2.004	56.027	0.003	44.591	0.2
26	70.992	2.003	55.992	-0.002	44.726	0.2
27	70.994	2.003	55.987	-0.003	44.714	0.2
28	71.005	2.003	56.011	-0.001	44.724	0.2
29	71.001	2.004	55.98	0.002	44.771	0.2
30	71.003	2.003	56.025	0.005	44.749	0.2

Tabla 12. Resultados de las mediciones realizadas a los pistones con la herramienta diseñada

Las figuras numeradas de la 41 a la 45, presentan los resultados de los análisis estadísticos realizados a las variables características del pistón, después de la utilización del herramental diseñado y construido.

7.1 Capacidad del proceso para “Diámetro de Spigot” después de implementar la nueva herramienta de corte

En la figura 41 se muestran los resultados, el histograma y el gráfico de racha obtenidos con el software utilizado para el control estadístico de proceso, después de haber implementado la nueva herramienta de corte, para este requerimiento específico de calidad. Se puede observar que el proceso se encuentra dentro de los límites de especificación, bajo control estadístico y que el índice Cpk tiene un valor de 9.17 el cual es superior al mínimo requerimiento de calidad.

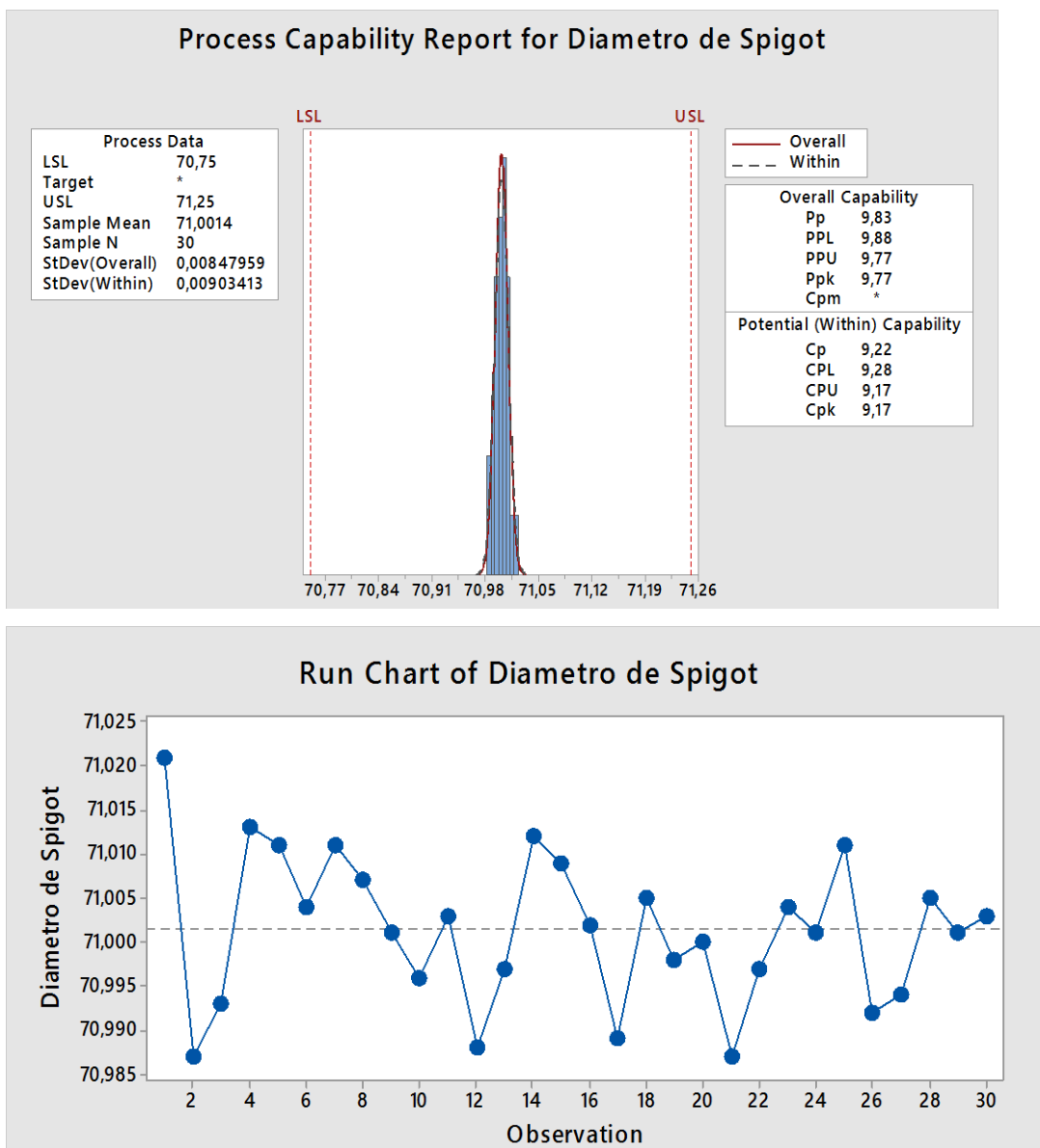


Figura 41. Reporte para diámetro de Spigot aplicación herramienta

7.2 Capacidad del proceso para “Profundidad de Spigot” después de implementar la nueva herramienta de corte

En la figura 42 se muestran los resultados, el histograma y el gráfico de racha obtenidos con el software utilizado para el control estadístico de proceso, después de haber implementado la nueva herramienta de corte, para este requerimiento específico de calidad. Se puede observar que el proceso se encuentra dentro de los límites de especificación, bajo control estadístico y que el índice Cpk tiene un valor de 182.05 con lo cual se puede asumir que el proceso no tiene variación significativa.

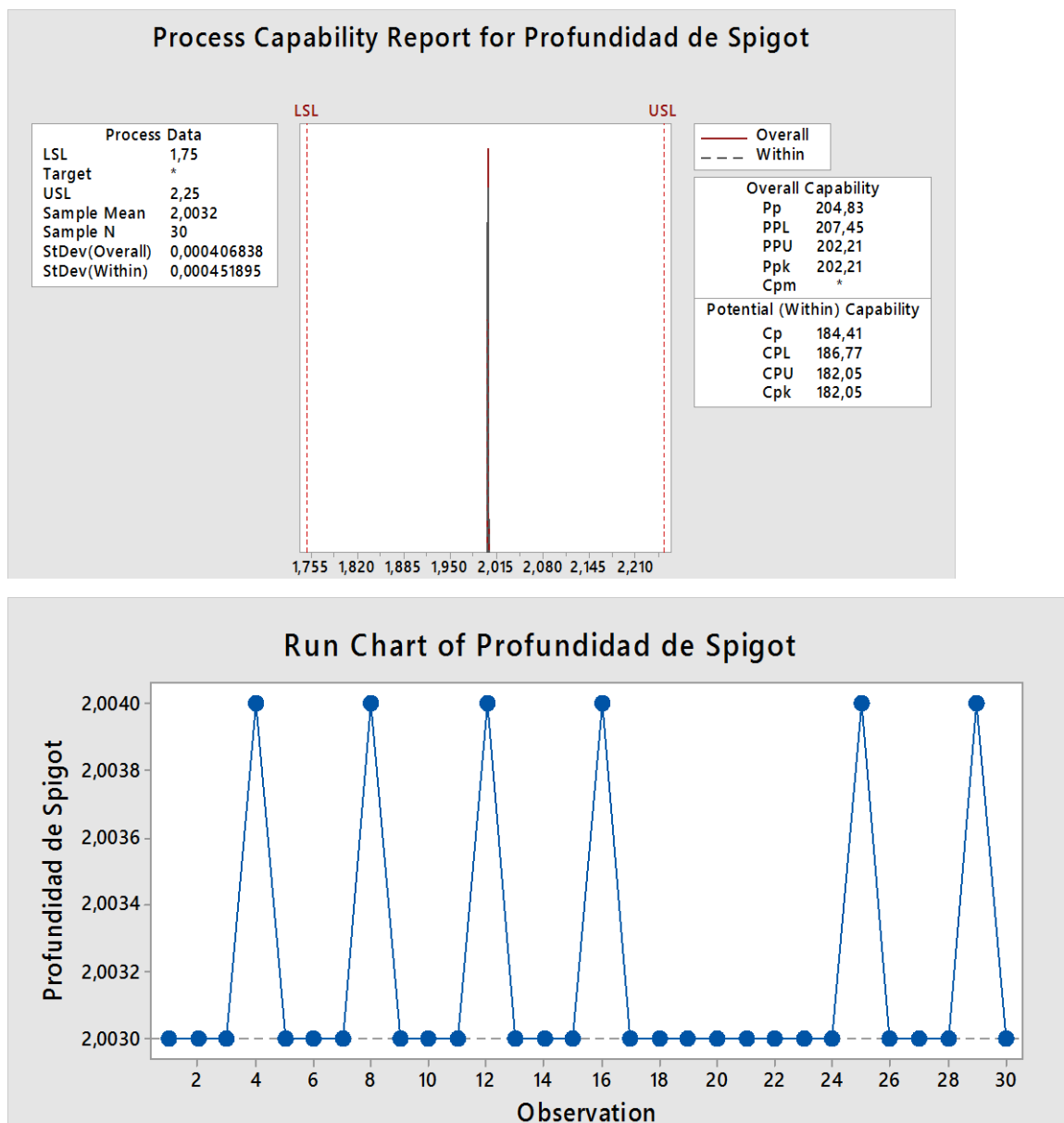


Figura 42. Reporte para profundidad de Spigot aplicación herramienta

7.3 Capacidad del proceso para “Diámetro extremo abierto” después de implementar la nueva herramienta de corte

En la figura 43 se muestran los resultados, el histograma y el gráfico de racha obtenidos con el software utilizado para el control estadístico de proceso, después de haber implementado la nueva herramienta de corte, para este requerimiento específico de calidad. Se puede observar que el proceso se encuentra dentro de los límites de especificación, bajo control estadístico y que el índice Cpk tiene un valor de 2.0, alcanzando nivel 6 sigma, con lo cual se exceden los requerimientos de calidad.

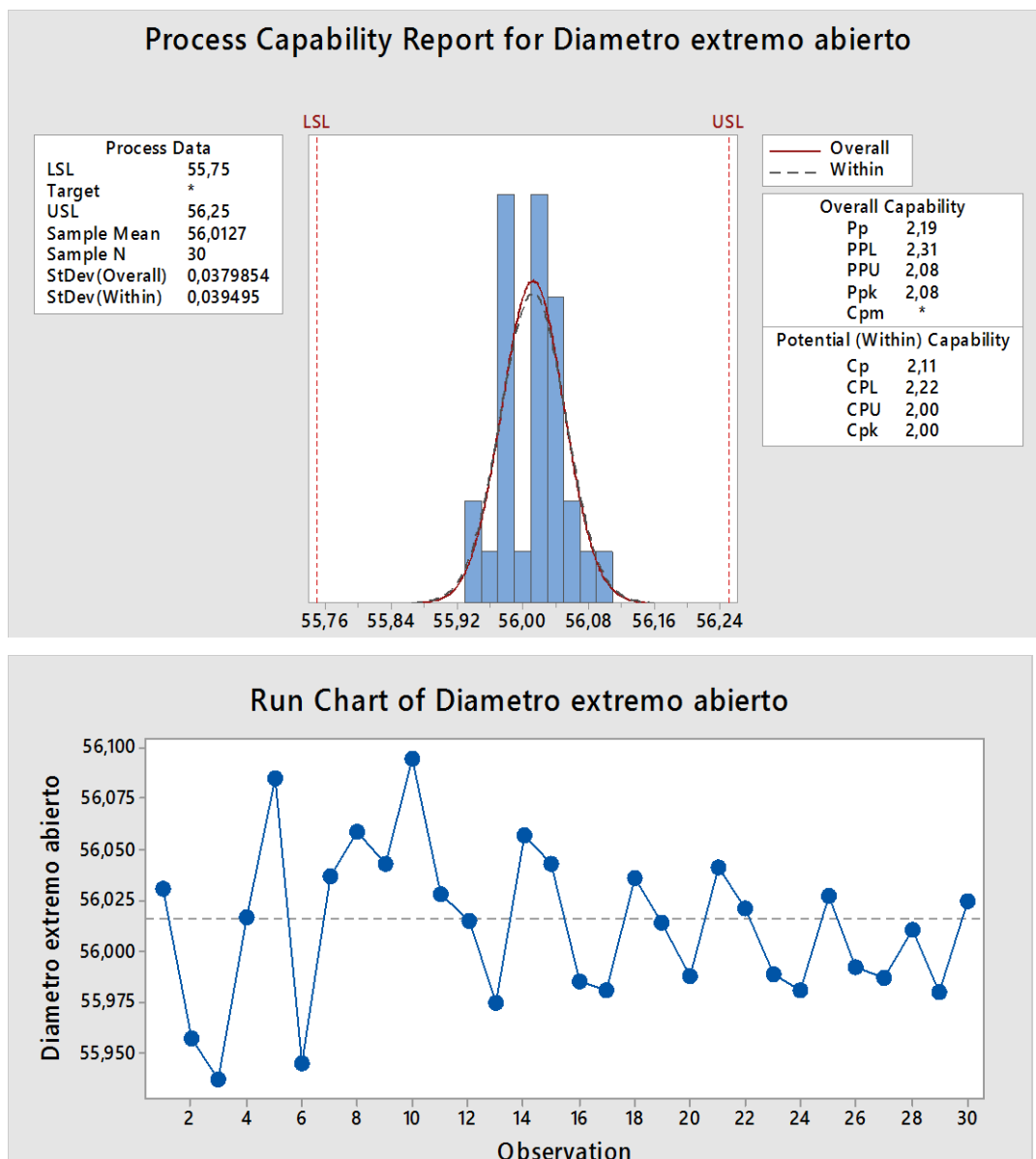


Figura 43. Reporte para diámetro interno del extremo abierto de la falda aplicación herramienta

7.4 Capacidad del proceso para “Paralelismo” después de implementar la nueva herramienta de corte

En la figura 44 se muestran los resultados, el histograma y el gráfico de racha obtenidos con el software utilizado para el control estadístico de proceso, después de haber implementado la nueva herramienta de corte, para este requerimiento específico de calidad. Se puede observar que el proceso se encuentra dentro de los límites de especificación, bajo control estadístico y que el índice Cpk tiene un valor de 3.91, superando el nivel 6 sigma, con lo cual se exceden los requerimientos de calidad.

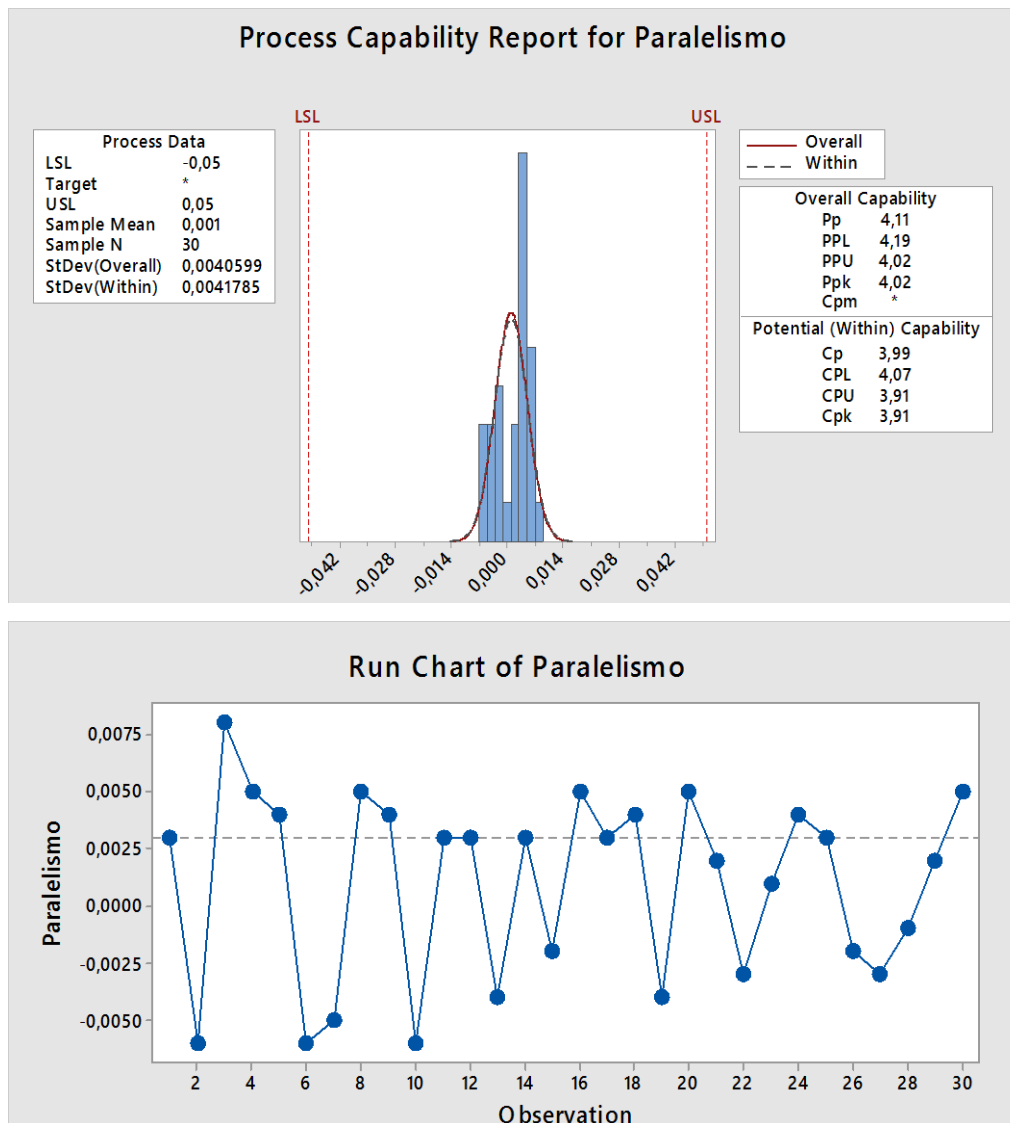


Figura 44. Reporte paralelismo de base de pistón a corona aplicación herramienta

7.5 Capacidad del proceso para “Largo de pistón” después de implementar la nueva herramienta de corte

En la figura 43 se muestran los resultados, el histograma y el gráfico de racha obtenidos con el software utilizado para el control estadístico de proceso, después de haber implementado la nueva herramienta de corte, para este requerimiento específico de calidad. Se observa que el proceso se encuentra dentro de los límites de especificación, bajo control estadístico y que el índice Cpk tiene un valor de 1.75, superando los mínimos requerimientos de calidad.

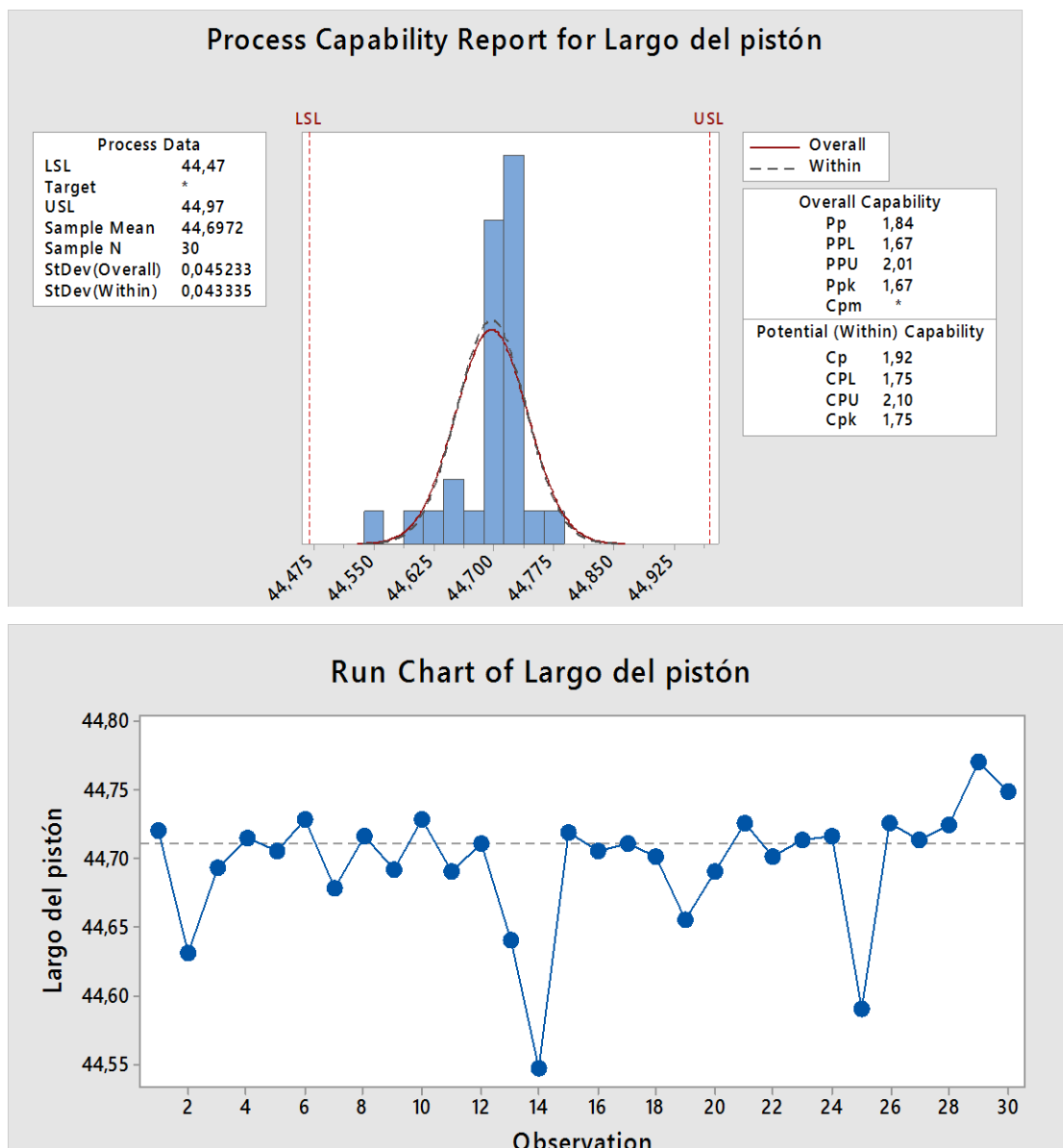


Figura 45. Reporte para largo de pistón aplicación herramienta

7.6 Capacidad del proceso para “Radio de Spigot” después de implementar la nueva herramienta de corte

La resolución del instrumento de medición utilizado para medir el radio de Spigot, no es suficiente para poder detectar variación en el proceso de manufactura, sin embargo al estar dentro del rango de especificación y sin variación importante, el proceso se considera en cumplimiento con los requerimientos del cliente en este punto.

7.7 Análisis de las características físicas del pistón

A continuación se muestra la tabla 14 con resultados de los estudios anteriores, junto con una descripción del causal del cambio en el índice de capacidad del proceso con respecto a los estudios mostrados en el Capítulo III.

Nombre de la Operación	Valor Cpk anterior	Valor Cpk nuevo	Causa de la mejora
Diámetro de Spigot	1.36	9.17	La herramienta al tener en su misma forma la dimensión requerida, reduce de manera importante la variación dimensional debido a que la maquina ya no se debe mover sobre sus ejes laterales, y deja como fuentes de variación únicas el backlash natural de máquina así como su vibración natural, y para el diámetro interno, la variación proviene en
Profundidad de Spigot	1.42	182.5	
Diámetro interno de extremo abierto de falda	1.59	2.0	

			gran parte de las diferencias del pistón después del proceso de fundido.
Simetría de Spigot contra corona	2.06	3.91	Debido a que la herramienta no requiere interpolar, cumplir con paralelismo desde su construcción, reduce la variación del proceso
Largo de pistón	1.36	2.75	Las fuentes de variación se reducen a solo 2: el backlash que tiene la máquina en su eje Z y la variación propia de la corona en su proceso de fundido (dónde hace Datum)
Radio de Spigot	8.28	Sin variación detectable	El radio de Spigot viene dado desde la fabricación, y al ser insertos fijos, eliminan en este punto la variación para la resolución en existencia.

Tabla 13. Resumen de los resultados de las condiciones antes y después de la implementación del herramental diseñado.

7.8 Análisis del tiempo de ciclo de maquinado

Se realiza un nuevo estudio de tiempo de ciclo en la operación 2 de Corte de Largo de Pistón y Maquinado de Spigot. Los resultados se muestran en la figura 46.

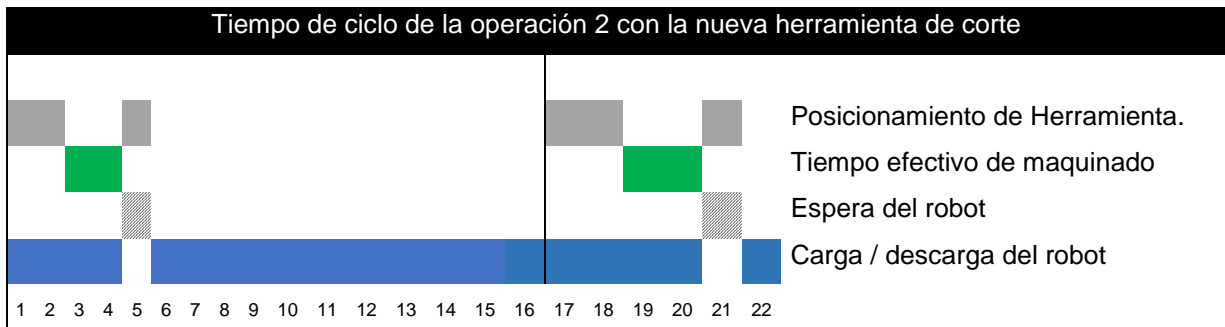


Figura 46. Tiempos de operación para el maquinado del pistón usando la nueva herramienta de corte

Se puede observar que el tiempo de maquinado efectivo se redujo a solo 2 segundos, en consecuencia la operación reduce su tiempo de ciclo en 4 segundos, quedando así en 16 segundos.

Esto trae como consecuencia que se eliminan los cuellos de botella en esta línea productiva, ya que ahora existen 2 operaciones con tiempo de ciclo de 16 segundos, con lo cual, el tiempo de ciclo total de la línea de puede fijar a partir de estas 2 operaciones.

6.3 Análisis del tiempo de cambio de herramienta al final de su vida útil.

El proceso de cambio de la herramienta al final de su vida útil de reduce como se muestra a continuación en la figura 47.

1. Localización y obtención de la herramienta en el almacén de herramientas



2. Cambio de herramienta en máquina



3. Maquinado de piezas, validación dimensional y liberación de proceso

Figura 47. Proceso preparación, ajuste y cambio de la nueva herramienta de corte

Se realiza un nuevo estudio para determinar el tiempo que tardan los operarios en realizar el cambio de la nueva herramienta de corte de la operación 2. En la tabla 15 se presentan los resultados.

Fase	Proceso	Tiempo (min)			Prom.
		Operario 1	Operario 2	Operario 3	
1	Localización y obtención del porta herramientas	2	2	2	2
2	Cambio de herramienta en la maquina	4	4	4	4
3	Maquinado de piezas, validación dimensional y liberación del proceso	6	8	7	7
	Tiempo Total	12	14	13	13

Tabla 14. Tiempos requeridos para el cambio de herramienta al final de su vida útil.

El tiempo requerido para cambiar la herramienta se redujo en promedio un 47.36% con respecto a la herramienta anterior, lo cual significa un ahorro de 11.7 minutos, casi la mitad de lo que anteriormente se requería, además de que si en el proceso de liberación, la pieza no cumplía con la especificación requerida, era necesario desmontar la herramienta, realizar un nuevo "preset" de insertos y correr nuevamente el proceso de validación, alargando otros 22 minutos el proceso. Con esta nueva herramienta de corte, se elimina la posibilidad de este potencial tiempo muerto.

CONCLUSIONES

- Se realizó un diagnóstico tanto de calidad como de tiempo de manufactura para la fabricación de pistones encontrándose, que la operación No. 2 Corte de Largo de Pistón (Maquinado de Spigot) es una operación restricción (cuello de botella), debido a que tenía un tiempo de ciclo muy largo; con el agravante de ser una operación que solamente dispone de un solo track de maquinado para alimentar a las siguientes operaciones, las cuales en su mayoría, son de 2 tracks. En cuanto a la calidad, en el diagnóstico realizado se encontró que las características del pistón cumplen con los requerimientos del cliente.
- La operación 2 de Corte de Largo de Pistón y maquinado de Spigot, suponía el tiempo de ciclo más largo en la línea de producción, de 20 segundos. De los cuales existían 5 segundos de espera, en los cuales el robot de carga y descarga esta sin funcionar.
- Se identificó y cuantificó el tiempo que demoran los técnicos en cambiar la herramienta de corte cuando ésta llega el término de su vida útil, el cual implicaba un tiempo de paro en promedio de 24.7 minutos, desde que hay que retirar la herramienta dañada de la máquina, hasta que se libera el proceso en conformidad con los requisitos dimensionales del pistón con la herramienta sustituta.
- Se realizó el diseño de una nueva herramienta de corte, partiendo de los planos CAD de construcción del pistón brindado por el cliente, asegurándose de que ésta, cumpliera con cada uno de los parámetros de calidad requeridos.
- La selección del material ACERO AISI 4140 como material del alma de la herramienta, se realizó en común acuerdo con URFGELES DIAMANT, quien es el encargado de la manufactura de las herramientas de maquinado. Se escogió el material de corte PCD UD30 en conformidad con lo establecido en el APQP liberado y autorizado por el cliente.

- Los resultados de la validación estadística de la corrida de prueba con el herramental nuevo fueron que la variación del proceso se optimizó en comparación con el herramental antiguo, esto debido a los menos movimientos requeridos sobre los ejes de la máquina, evitando así variación por la holgura propia y natural del desgaste de los componentes de la máquina (backlash). Esto se validó mediante la comparación del valor de Cpk de cada uno de las características, y encontrándose que superaban a los anteriores ampliamente
- El tiempo de corte en esta operación se redujo a 2 segundos (anteriormente 6 segundos) lo que trae como resultado que el tiempo de ciclo de la operación disminuyera también quedando en 16 segundos (anteriormente 20 s), con lo cual, el cuello de botella se elimina y el tiempo de ciclo de la línea se fija por la operación 7 (Rimado de barreno de perno y brochado de vena de lubricación)
- El tiempo requerido para cambiar la herramienta de corte, una vez dañada, se redujo en un 47.3% promedio, lo que son 13 minutos de paro en lugar de 24.7 minutos, esto debido a la reducción de componentes móviles en la herramienta y que requerían ajuste de Presetting.

RECOMENDACIONES

Cuando un proceso de mejora continua es viable y funcional en una línea piloto de producción, siempre cabe la posibilidad de que el proyecto también sea funcional en las demás líneas de fabricación de pistones que requieran el maquinado de Spigot, por eso se recomienda a futuros interesados en ejecutar un proyecto similar, realizar el proceso de diagnóstico de tiempos de ciclo y tiempos de change over aplicable para las operaciones que exista en la línea objeto del estudio, y siempre tener en cuenta que lo principal es mantener los métricos primarios de calidad al menos, con un nivel sigma igual que los mínimos requeridos por ISO TS 16949 o por el cliente.

Otra recomendación es realizar un estudio con un diferente material de corte, más económico y demostrar que el acabado superficial que se obtiene con él, no afecta el funcionamiento del pistón dentro del motor.

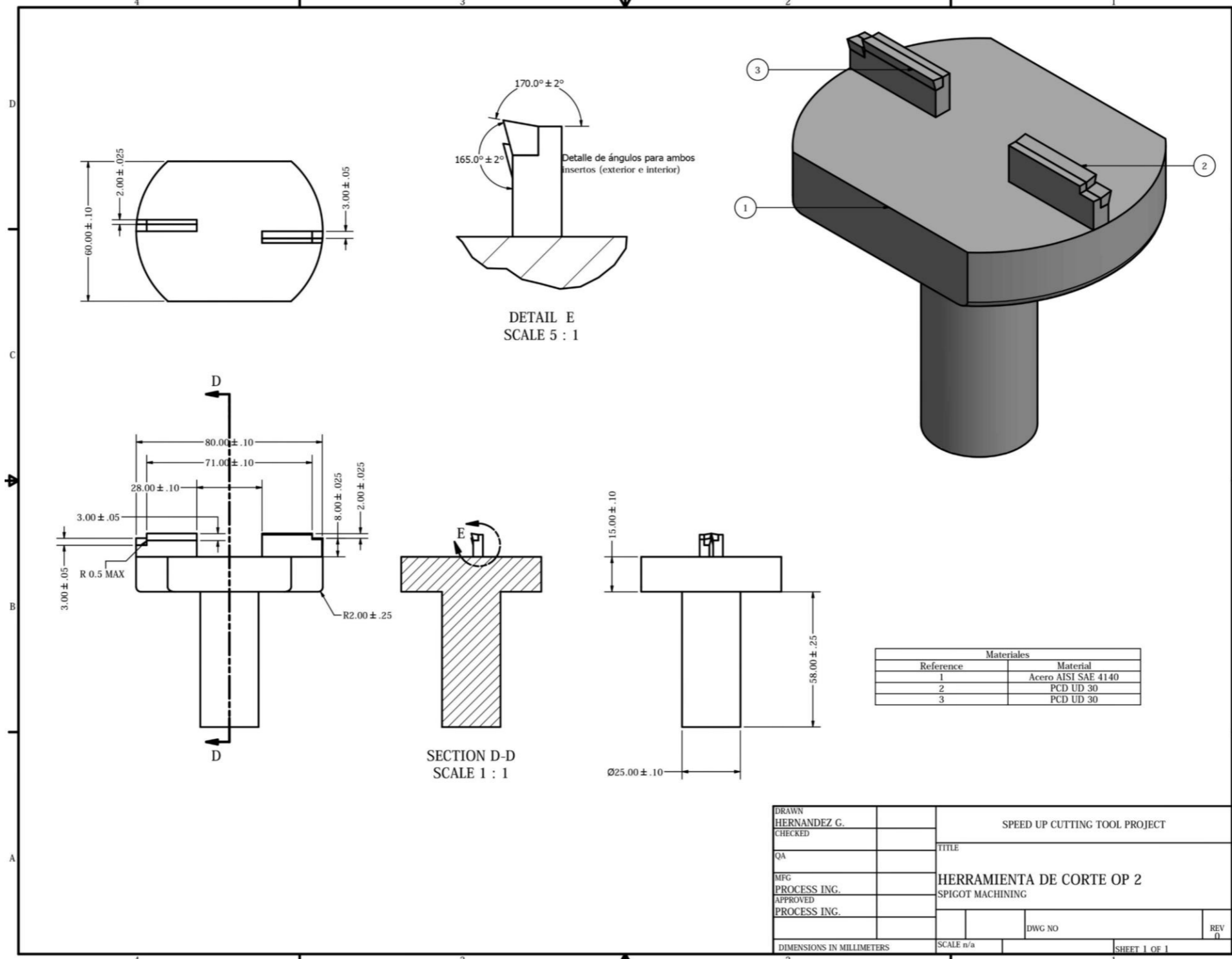
BIBLIOGRAFÍA

- [1] ISO/TS 16949 (2009) [En línea] Disponible: <http://www.imsm.com/es/iso-ts-16949/>
- [2] Federal Mogul (2014). [En línea] Disponible: <http://www.federalmogul.com/es-ES/Empresa/Paginas/home.aspx#.VJdhPGAA8>
- [3] European Aluminium Association. [En línea] Applications. Power train – Pistons. Disponible: <http://www.alueurope.eu/>
- [4] J. Neira. “El futuro de los motores”. 2012 [En línea] Energy and Environment. Disponible: <http://energyenvironmentuis.blogspot.mx/2012/11/el-futuro-de-los-motores-despues-de.html>
- [5] J. Gaviria, J. Mora y J. Agudelo “Historia de los Motores de los Motores de Combustión Interna”. 2002 Revista de la Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. 26., pp. 68 – 72.
- [6] W. Pawlak. “Funcionamiento de motores de combustión interna”. 1984. Manual Universitario para estudiantes. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- [7] F Payri y J. Desantes. “Motores de combustión interna alternativos”. 2012 Universitat Politecnica de Valencia. Editorial Reverte.
- [8] C. Rolla y M. Carpenter. “Internal Combustion Engines. Their theory, construction and operation”. 1969. D. Van Nostrand Company. New York.
- [9] F. Salazar. “Internal Combustion Engines” 1998. Department of Aerospace and Mechanical Engineering. University of Notre Dame.
- [10] A. Bueno, J. Velasquez, L. Milanez. “Internal Combustion Engine Indicating Measurements. Applied Measurement Systems”. 2012 Prof Zahurul Haq (ed).
- [11] J. Álvarez. “Motores alternativos de combustión interna”. 2005. Univ. Politec. de Catalunya, 2005. UPC Edicions
- [12] A. Prat y L. Tort. “Métodos Estadísticos. Control y mejora de la calidad” 2004. Ediciones UPC.
- [13] M. Rajadell y J. Sánchez. “LEAN MANUFACTURING”. 2010 Editorial Díaz de Santos.
- [14] A. López. “Complementos Teóricos. Tecnología de la Fabricación. Tecnología Mecánica. Área de Ingeniería Mecánica” 2011 [En línea]. Universidad de Almería.

- [15] J. Schey. "Procesos de manufactura" 2000. 3ra edición. México. McGraw-Hill.
- [16] A. Kalpakjian y S. Schmid." Manufactura, Ingeniería y Tecnología". 2002. 5ta edición. México. Pearson Prentice.
- [17] M. Groover. "Fundamentos de Manufactura Moderna, Materiales, Procesos y Sistemas". 1997. México. Pearson Prentice.
- [18] G. Bartsch. "Herramientas, Máquina y Trabajo". 1983. Editorial Reverté. 2da Edición.
- [19] Urgeles Diamant. 2010. [En línea] Urgeles Diamant. Dponible:
<http://www.urgelesdiamant.com/>
- [20] J. Rodríguez, L. Castro y J. del Real. "Procesos Industriales para materiales metálicos". 2006. 2da Edición. Visión Net. Madrid, España.
- [21] F. Barrio. "Control Estadístico de Procesos" 2005. "da Edición. Editorial CONFEMETAL. Madrid, España.

ANEXOS

ANEXO I. PLANO DE CONSTRUCCIÓN DE NUEVA HERRAMIENTA DE CORTE



DRAWN HERNANDEZ G.		SPEED UP CUTTING TOOL PROJECT	
CHECKED		TITLE	
QA		HERRAMIENTA DE CORTE OP 2	
MFG PROCESS ING.		SPIGOT MACHINING	
APPROVED PROCESS ING.		DWG NO	REV 0
DIMENSIONS IN MILLIMETERS		SCALE n/a	SHEET 1 OF 1