

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

INSTITUTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AUTOMOTRIZ



TESIS

Método para la reducción del tiempo de preparación de la pieza de trabajo en un centro de maquinado vertical

Para obtener el título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Presenta:

Ángel Hernández Ibáñez

Director de tesis:

Dr. Ignacio Hernández Castillo

Codirectora de tesis:

Dra. Orquídea Sánchez López

Huajuapán de León, Oaxaca, México. Marzo, 2019.

Dedicatoria

Agradezco infinitamente a Dios, el permitirme llegar a tan anhelado momento y punto de mi vida, en compañía de mis padres, hermanos, abuelitos y demás familia; todo sacrificio y esfuerzo tiene su recompensa. Por lo tanto, dedico este proyecto de Tesis a:

Mis Padres: **Enedina Crispina Ibáñez Cruz y Laurentino Pablo Hernández Vivar**, por el apoyo incondicional que me han proporcionado, por los valores y enseñanzas que me han forjado a ser un hombre con una mejor perspectiva de la vida. Doy gracias por todos sus esfuerzos, ganas de salir adelante e impulsos para luchar por lo que quiero.

A mis Hermanos: **Virginia, Guadalupe, Mireya y Alejandro**, quienes siempre me han brindado su apoyo, motivación y cariño para el logro de mis metas.

A mis Abuelitos: **Serafín A. Ibáñez Santos y María de la Trinidad Cruz Guzmán**, por todos sus consejos y apoyo cuando más lo he necesitado, por siempre estar en los momentos más difíciles dándome su cariño para salir adelante.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, hermanos y abuelitos, por todo el apoyo que me han brindado, por ser los mayores promotores y motivadores para el logro de esta meta que se ve reflejado en la culminación de este proyecto de tesis.

Agradezco a mis directores de tesis: al Dr. Ignacio Hernández Castillo y a la Dra. Orquídea Sánchez López, por sus esfuerzos, conocimientos compartidos, experiencias y motivación para la realización de este proyecto de tesis.

Agradezco a la Universidad Tecnológica de la Mixteca, así como, a cada uno de sus docentes que me compartieron sus conocimientos para mi formación.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Índice de figuras	vi
Índice de tablas	ix
Capítulo 1. Marco de referencia	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos.....	2
1.4.1 Objetivo general	2
1.4.2 Objetivos específicos.....	2
1.5 Metas	3
1.6 Delimitaciones	3
Capítulo 2. Marco teórico.....	4
2.1 Maquinado.....	4
2.2 Centro de maquinado.....	4
2.3 Control numérico computarizado (CNC)	6
2.3.1 Sistema de coordenadas	7
2.3.2 El origen de la pieza	8
2.3.3 Los decalajes de origen	10
2.4 Fundamentos de programación.....	10
2.5 Ejecución de una pieza en una máquina herramienta de CNC.....	13
2.6 Dispositivos de calibración y de localización de ejes.....	13
2.7 Tiempo de configuración reducido.....	16
2.8 Estudio de tiempos	16
2.9 Elementos del estudio de tiempos	17
2.10 Procedimiento para medir el trabajo.....	18
2.10.1 Estudio de tiempos con cronómetro	19
2.11 Aspectos generales del estudio de tiempos	20
2.11.1 Valoración del ritmo de trabajo y suplementos.....	21

2.11.2	Suplementos u holguras	22
2.11.3	Sistema de evaluación Westinghouse	23
2.11.4	El tiempo tipo o estándar.....	25
2.12	Despliegue de la función de calidad (DFC).....	25
2.12.1	Pasos de un análisis con la matriz o casa de la calidad	26
Capítulo 3. Método de investigación.....		29
3.1	Selección del proyecto.....	29
3.2	Obtención y presentación de datos	30
3.3	Análisis de datos	35
3.4	Desarrollo del método ideal.....	36
3.4.1	Propuestas del calibrador electrónico para el eje Z.....	40
3.4.2	Proceso de fabricación del calibrador electrónico.....	43
3.4.3	Diseño final del calibrador electrónico	51
3.4.4	Explosionado del calibrador electrónico.....	57
3.4.5	Método propuesto de calibración de herramientas y localización de ceros pieza de un trabajo en el CMV.....	62
Capítulo 4. Resultados y conclusiones		68
4.1	Presentación e instalación del método.....	68
4.2	Desarrollo y análisis del trabajo	69
4.2.1	Validación estadística.....	70
4.3	Establecimiento de estándares de tiempo	72
4.4	Seguimiento.....	74
4.5	Conclusiones.....	74
4.6	Trabajos a futuro.....	75
Glosario		76
Referencias		78

Índice de figuras

Figura 1. Decalaje de origen (Fagor Automation, 2014).....	7
Figura 2. Posición arbitraria de una pieza (Arriaga Gordillo & Merino Godínez, 2009).	9
Figura 3. Posición favorable de una pieza (Arriaga Gordillo & Merino Godínez, 2009).	9
Figura 4. Decalaje de origen (Fagor Automation, 2014).....	10
Figura 5. Localizador de centros micro audible (Traverstool, 2017).	14
Figura 6. Localizador de orillas (Traverstool, 2017).....	14
Figura 7. Localizadores electrónicos de orillas y 3 dimensiones (Traverstool, 2017).	14
Figura 8. Localizadores de centros para barras (Traverstool, 2017).	15
Figura 9. Gage zero setter "pro-touch off" (Traverstool, 2017).	15
Figura 10. Localizador electrónico de eje "Z" (Traverstool, 2017).....	15
Figura 11. Descomposición de ciclo de trabajo (García Criollo, 2005).	25
Figura 12. Forma de la casa de calidad (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004).	26
Figura 13. Fases subsecuentes del DFC (Chan & Wu, 2002).	28
Figura 14. Diagrama del proceso actual de calibración de herramientas y localización de ceros de la pieza de trabajo en un CMV (Fuente: Propia).	32
Figura 15. Pantalla para la calibración de herramientas (Fagor Automation, 2014).....	34
Figura 16. Pantalla para la edición de las coordenadas (Fagor Automation, 2014).....	34
Figura 17. Primera casa de la calidad con respecto al producto (Fuente: Propia).....	38
Figura 18. Segunda casa de la calidad con respecto a los componentes del calibrador electrónico (Fuente: Propia).	39
Figura 19. Boceto del primer diseño del calibrador electrónico (Fuente: Propia).	40
Figura 20. Boceto del segundo diseño del calibrador electrónico (Fuente: Propia).....	41
Figura 21. Boceto del tercer diseño del calibrador electrónico (Fuente: Propia).....	41
Figura 22. Primer circuito electrónico que funciona como probador de continuidad audible (Fuente: Propia).	43
Figura 23. Primer circuito armado en un protoboard (Fuente: Propia).	43
Figura 24. Segundo circuito con función de un probador de continuidad audible (Fuente: Propia).	45
Figura 25. Segundo circuito armado en un Protoboard (Fuente: Propia).....	45

Figura 26. Tercer circuito electrónico con función de un probador de continuidad (Fuente: Propia).	46
Figura 27. Tercer circuito armado en el protoboard (Fuente: Propia).....	46
Figura 28. Circuito final con función de un probador de continuidad audible (Fuente: Propia).	47
Figura 29. Diagrama de bloques del circuito final (Fuente: Propia).	48
Figura 30. Circuito final armado en un protoboard (Fuente: Propia).	48
Figura 31. Circuito final representativo (Fuente: Propia).....	49
Figura 32. Forma del circuito impreso (Fuente: Propia).	49
Figura 33. Placa fenólica con el circuito impreso, sumergido en cloruro férrico (Fuente: Propia).	50
Figura 34. Parte inferior de la placa fenólica (Fuente: Propia).	50
Figura 35. Maquinado del prototipo del calibrador (Fuente: Propia).....	51
Figura 36. Vista frontal del prototipo de la carcasa (Fuente: Propia).	51
Figura 37. Vista lateral izquierda del prototipo de la carcasa (Fuente: Propia).	52
Figura 38. Vistas en proyección de tercer ángulo, sistema americano (Fuente: Propia).....	53
Figura 39. Selección de la herramienta para el desbaste (Fuente: Propia).	54
Figura 40. Selección de la herramienta para el acabado (Fuente: Propia).	55
Figura 41. Proceso de maquinado de la carcasa del calibrador (Fuente: Propia).....	55
Figura 42. Maquinado de la carcasa en el CMV (Fuente: Propia).	56
Figura 43. Visualización del maquinado en el panel del control (Fuente: Propia).	56
Figura 44. Maquinado empleando el ciclo de taladrado (Fuente: Propia).....	57
Figura 45. Vista explosionada del calibrador (Fuente: Propia).	57
Figura 46. Carcasa del calibrador electrónico (Fuente: Propia).	58
Figura 47. Placa fenólica con componentes electrónicos (Fuente: Propia).....	59
Figura 48. Plug banana (Fuente: Propia).	59
Figura 49. Buzzer (Fuente: Propia).	59
Figura 50. Batería alcalina de 9 voltios (Fuente: Propia).....	60
Figura 51. Cable de calibre 18 (Fuente: Propia).....	60
Figura 52. Caimán – pinzas (Fuente: Propia).	60
Figura 53. Imán de neodimio (Fuente: Propia).....	61

Figura 54. Lámina de aluminio lateral (Fuente: Propia).	61
Figura 55. Lámina de aluminio superior (Fuente: Propia).	62
Figura 56. Placa de aluminio rectificada (Fuente: Propia).	62
Figura 57. Diagrama del método propuesto de calibración de herramientas y localización de ceros pieza de un trabajo en un CMV (Fuente: Propia).	64
Figura 58. Posicionamiento del cortador en el cero pieza (Fuente: Propia).	66
Figura 59. Pantalla de calibración de herramientas (Fagor Automation, 2014).	66
Figura 60. Tabla de orígenes (Fagor Automation, 2014).	67
Figura 61. Gráfica de los efectos principales de los tipos de método y calibrador (Fuente: Propia).	72

Índice de tablas

Tabla 1. Funciones G empleadas en CNC (Fagor Automation, 2014).....	11
Tabla 2. Funciones misceláneas utilizadas en el CNC (Arriaga Gordillo & Merino Godínez, 2009).....	12
Tabla 3. Suplementos (Niebel & Freivalds, 2009).	23
Tabla 4. Sistema Westinghouse para calificar habilidades (Niebel & Freivalds, 2009).	24
Tabla 5. Sistema Westinghouse para calificar el esfuerzo (Niebel & Freivalds, 2009).	24
Tabla 6. Sistema Westinghouse para calificar condiciones (Niebel & Freivalds, 2009).	24
Tabla 7. Sistema Westinghouse para calificar la consistencia (Niebel & Freivalds, 2009).	25
Tabla 8. Criterio de General Electric (Niebel & Freivalds, 2009).	35
Tabla 9. Hoja de estudio de tiempos (Fuente: Propia).	36
Tabla 10. Evaluación de alternativas de los calibradores (Fuente: Propia).....	42
Tabla 11. Evaluación de alternativas para circuitos (Fuente: Propia).	47
Tabla 12. Lista de componentes del calibrador electrónico eje Z. (Fuente: Propia)	58
Tabla 13. Estudio de tiempos del método propuesto y uso del calibrador nuevo (Fuente: Propia).	68
Tabla 14. Hoja de estudio de tiempos: calibrador propuesto y el método existente (Fuente Propia).	69
Tabla 15. Hoja de estudio de tiempos: calibrador existente y método propuesto (Fuente: Propia).	70
Tabla 16. Factores y niveles del diseño factorial general (Fuente: Propia).....	70
Tabla 17. Tiempos de preparación del diseño factorial general (Fuente: Propia).....	71
Tabla 18. Análisis de varianza del diseño factorial general (Fuente: Propia).	71
Tabla 19. Resumen de los tiempos totales de ciclo obtenidos del método y calibrador propuestos (Fuente: Propia).....	73
Tabla 20. Ritmo de trabajo del estudio (Fuente: Propia).....	73
Tabla 21. Comparación entre métodos y calibradores (Fuente: Propia).	74

Capítulo 1. Marco de referencia

1.1 Introducción

El maquinado es un grupo de procesos cuyo propósito es la remoción de material y la modificación de las superficies de una pieza de trabajo (Kalpakjian & Schmid, 2008).

Los estándares de hoy en día exigen que los procesos de maquinado sean cada vez más precisos y de mayor calidad en el acabado. Esto ha llevado a la incursión de nuevas tecnologías en los últimos años, tal como lo es el control numérico computarizado (CNC), y los dispositivos para determinar rápidamente la calidad del maquinado. La incursión de estas nuevas tecnologías y dispositivos ha hecho que el proceso se lleve a cabo de una manera más rápida, segura y con productos de mayor calidad (Ortiz, 2004).

Esta investigación está enfocada al desarrollo de un método para la calibración de las herramientas y la localización de ceros y orígenes de la pieza, por medio del procedimiento sistemático de métodos y medición del trabajo definido por Niebel y Freivalds (2009), esto con el fin de reducir tiempos y movimientos al realizar cada una de estas actividades en el área de trabajo de un centro de maquinado vertical (CMV).

1.2 Planteamiento del problema

En el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, se realiza el proceso de maquinado en diferentes máquinas-herramienta. En el presente trabajo, se abordó la problemática que surge, específicamente, en el centro de maquinado vertical (CMV), debido a que cuando se requiere maquinar una pieza con diferentes operaciones como careado, fresado, torneado, taladrado, mandrinado, rimado o roscado, es lógico que se requieran diferentes herramientas de corte para dichas operaciones, por lo que una vez generado el programa de control numérico (CN), es necesario calibrar todas las herramientas requeridas con respecto al origen de la máquina, de tal manera que se logre establecer el origen en la pieza de trabajo en un solo punto.

Por lo anterior, el problema identificado es la falta de un método estandarizado que sea utilizado para establecer de manera precisa y exacta el origen en la pieza de trabajo, así

mismo, se pretendió reducir el tiempo de calibración de herramientas y localización del origen en la pieza de trabajo.

La investigación realizada se enfocó en el centro de maquinado vertical ubicado en el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura de la Universidad Tecnológica de la Mixteca y se analizaron los dispositivos de calibración y localización de origen existentes en el laboratorio.

1.3 Justificación

Para el maquinado de cualquier geometría en el CMV, por medio de manufactura asistida por computadora (MAC) se requiere realizar una preparación del área de trabajo, antes de ejecutar el programa de control numérico. Actualmente el tiempo de alistamiento de la pieza de trabajo para ubicar el origen de las coordenadas y la calibración de herramientas de corte puede considerarse demasiado dependiendo del enfoque con que se mida, debido a que las actividades que realiza el operador de la máquina no están establecidas de forma metódica, lo que se ve reflejado en una mayor duración de estas preparaciones, independientemente del número de herramientas asignadas para la remoción de material.

Por lo anterior, se desarrolló un método que reduzca el tiempo de calibración de herramientas de corte y la localización del origen de la pieza de trabajo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un método de calibración de herramientas de corte y localización del origen en la pieza de trabajo en un centro de maquinado vertical, para reducir el tiempo de preparación, mediante técnicas del estudio de trabajo.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el método actual de calibración de herramientas y localización del origen por medio del análisis de la operación.
- Diseñar y manufacturar un dispositivo electrónico para la localización de orillas y eje Z en la pieza de trabajo.

- Desarrollar un método alternativo que reduzca el tiempo de preparación en el centro de maquinado vertical.
- Validar el método alternativo mediante un análisis estadístico.

1.5 Metas

- Fabricar un dispositivo electrónico para localizar el origen en la pieza de trabajo, con un costo menor con respecto a los dispositivos comerciales.
- Definir un método para la calibración de herramientas de corte y localización de origen en la pieza de trabajo
- Reducir el tiempo de calibración de herramientas de corte y localización de origen en la pieza de trabajo

1.6 Delimitaciones

El presente trabajo se desarrolló considerando lo siguiente:

- Se utilizó el centro de maquinado vertical ubicado en el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura.
- Se empleó el sistema de calibración del control Fagor® y el carrusel de 16 herramientas del CMV.
- El estudio fue desarrollado con base en las herramientas existentes en el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Maquinado

El maquinado no es solamente un proceso, sino una familia de procesos. La característica común es el uso de una herramienta de corte que forma una viruta, la cual se remueve de la pieza de trabajo, realizar la operación se requiere movimiento relativo entre la herramienta y el material de trabajo. Este movimiento relativo se logra en la mayoría de las operaciones de maquinado por medio de un movimiento primario, llamado la velocidad de corte, y un movimiento secundario, denominado avance. Los procesos de remoción de material son una familia de operaciones de formado en las que el material sobrante es removido de una pieza de trabajo inicial, de tal manera que lo que queda es la forma final que se desea conseguir. La familia más importante es el maquinado convencional, en el que una herramienta de corte se utiliza para cortar mecánicamente el material y así alcanzar la forma deseada. Los tres procesos principales de maquinado son el torneado, el taladrado y el fresado (Groover, 2007).

Como en otras operaciones de manufactura, es importante ver las operaciones de maquinado como un sistema, que consta de:

- Pieza de trabajo
- Herramienta de corte
- Máquina herramienta
- Personal de producción

El maquinado es el más versátil y preciso de todos los procesos de manufactura por su capacidad de producir una diversidad de piezas y características geométricas, por ejemplo, roscas de tornillos, dientes de engrane, superficies lisas (Groover, 2007).

2.2 Centro de maquinado

El centro de maquinado es una máquina herramienta avanzada, controlada por computadora, que tiene la capacidad de realizar varias operaciones de maquinado de diferentes superficies y orientaciones de una pieza de trabajo sin tener que retirarla de su aditamento de sujeción. Por lo general, dicha pieza se mantiene estacionaria y las herramientas de corte giran como lo

hacen en el fresado, taladrado, honeado, machuelado y operaciones similares (Kalpakjian & Schmid, 2008).

Un centro de maquinado está equipado con un cambiador automático de herramientas programable. Las herramientas de corte se seleccionan en forma automática, con acceso aleatorio para la ruta más corta al husillo de la máquina. El brazo de intercambio de herramientas gira alrededor para recoger una herramienta en particular y la coloca en el husillo, cada herramienta tiene su propio portaherramientas, por lo cual la transferencia de las herramientas de corte al husillo de la máquina es eficiente. Las herramientas se identifican con códigos de barras, etiquetas codificadas o chips de memoria incorporadas directamente en sus portaherramientas. Por lo general, los tiempos de cambio de herramienta son de entre 5 y 10 segundos, pero pueden llegar hasta de 30 segundos para herramientas que pesan 110 kg (Kalpakjian & Schmid, 2008).

Bawa (2007), define al centro de maquinado como una máquina herramienta capaz de realizar varias operaciones diferentes sobre una pieza de trabajo de acuerdo con un programa de control en un solo montaje, es decir, se pueden llevar a cabo diferentes operaciones, como fresado, taladrado, escariado, roscado, perforado y refrentado.

De acuerdo con Kalpakjian y Schmid (2008), existen diversos diseños de centros de maquinado, los dos tipos básicos son los siguientes:

- Husillo vertical, conocidos como centro de maquinado verticales, tienen la capacidad de efectuar diversas operaciones de maquinado en partes con cavidades profundas. Debido a que las fuerzas de empuje en el maquinado vertical se dirigen hacia abajo, dichas máquinas tienen gran rigidez y producen partes con buena precisión dimensional.
- Husillo horizontal, conocido también como centro de maquinado horizontal (CMH), es adecuado para piezas de trabajo grandes y altas que requieren maquinado en muchas de sus superficies.

2.3 Control numérico computarizado (CNC)

El control numérico es el control de máquinas-herramienta por medio de números. El CN es un sistema en el cual se programan valores numéricos insertados directamente y almacenados en alguna forma de entrada y automáticamente leído y codificado para provocar un movimiento correspondiente a la máquina que se está controlando.

El control numérico puede definirse como un dispositivo capaz de controlar el movimiento exacto de uno o varios órganos de máquina-herramienta de forma automática a partir de una serie de datos numéricos programados, que hacen funcionar los controles y motores eléctricos de máquinas-herramienta para realizar las siguientes funciones:

- Los movimientos de los carros
- Las velocidades de posicionamiento y mecanizado
- Los cambios de herramienta
- Las condiciones de funcionamiento (refrigeración, lubricación, etc.).

El CN logra el posicionamiento preciso de la pieza de trabajo y el de las herramientas de corte, pero las mismas herramientas tales como: fresas, brocas, machuelos, buriles, y otras herramientas, todavía establecen las diversas operaciones de maquinado, y aún es necesario considerar los parámetros de corte como: velocidad de corte y profundidad de corte, así como los principios de herramientación (Arriaga Gordillo & Merino Godínez, 2009).

Amstead (2000), menciona que el control numérico utiliza coordenadas rectangulares o cartesianas para definir un punto en el espacio. Por medio de este sistema de coordenadas puede describirse un punto en el espacio en términos matemáticos desde cualquier otro punto a lo largo de tres ejes perpendiculares entre sí. La construcción de máquinas herramienta está basada en dos o tres ejes perpendiculares de movimiento lineal y un eje de rotación.

Kalpakjian y Schmid (2008), define el control numérico por computadora (CNC) como un sistema en el que una microcomputadora de control es parte integrada de una máquina (computadora integrada). El operador de la máquina puede programar las computadoras

integradas, modificar los programas de forma directa, prepararlos en diferentes partes y almacenarlos.

En la actualidad, se utilizan ampliamente sistemas CNC debido a la disponibilidad de pequeñas computadoras con gran memoria, controladores programables y micro-procesadores de bajo costo y capacidad de edición de programas.

2.3.1 Sistema de coordenadas

Arriaga Gordillo y Merino Godínez (2009), mencionan que una vez establecido el objetivo del control numérico como controlar el movimiento y posicionamiento de los ejes, será necesario determinar la posición del punto a alcanzar por medio de sus coordenadas.

- a) De dos ejes
- b) De tres ejes
- c) De la máquina

Una máquina dirigida por control numérico necesita tener definidos los siguientes puntos de origen y de referencia:

- Cero máquina o punto de origen de la máquina (Figura 1), es fijado por el fabricante como el origen del sistema de coordenadas de la máquina (Fagor Automation, 2014).

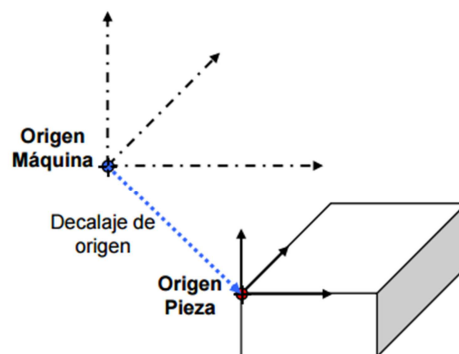


Figura 1. Decalaje de origen (Fagor Automation, 2014).

- Punto de referencia es un punto de la máquina fijado por el fabricante sobre el que se realiza la sincronización del sistema. El control se posiciona sobre este punto tomando

las cotas de referencia que están definidas mediante el parámetro máquina de los ejes (Fagor Automation, 2014).

El punto de referencia de una máquina, sirve para calibrar y para controlar el sistema de medición de los desplazamientos de los carros y de los recorridos de las herramientas.

De acuerdo con Arriaga Gordillo y Merino Godínez (2009), la posición del punto de referencia está predeterminada con precisión en cada uno de los ejes de desplazamiento y finales de carrera. De esta forma, las coordenadas del punto de referencia son las mismas y sus valores numéricos respecto al cero máquina con precisión. Además, señalan que las máquinas-herramienta equipadas con captadores de posición absolutos no requieren el punto de referencia de máquina debido a los valores precisos de las coordenadas de los recorridos de cada eje, y que dichos valores pueden obtenerse directamente en cualquier momento.

En cierto tipo de máquinas, por ejemplo, en las fresadoras, el sistema de medición se puede calibrar mediante el posicionamiento en el origen máquina. Sin embargo, en la mayoría de los casos el cero máquina no puede alcanzarse estando presentes las piezas y las herramientas. En estos casos se tiene que utilizar un punto de referencia.

2.3.2 El origen de la pieza

Cero pieza o punto de origen de la pieza, es el punto de origen que se fija para la programación de las medidas de la pieza, puede ser elegido libremente por el programador y su referencia con el cero máquina se fija mediante el decalaje de origen. (Fagor Automation, 2014).

En las siguientes figuras, se muestran cómo es posible simplificar las coordenadas de las piezas eligiendo una posición favorable del sistema de coordenadas.

La Figura 2, presenta un cuadrado posicionado en un punto arbitrario del sistema de coordenadas. La Figura 3, muestra el mismo cuadrado con dos de sus bordes coincidiendo con los ejes X y Y. Así, los valores de las coordenadas pueden tomarse directamente del plan de la pieza y de esta forma reconocer fácilmente, evitando cálculos adicionales (Arriaga Gordillo & Merino Godínez, 2009).

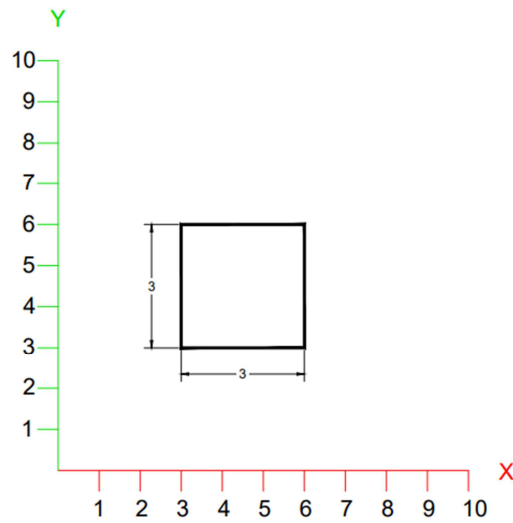


Figura 2. Posición arbitraria de una pieza (Arriaga Gordillo & Merino Godínez, 2009).

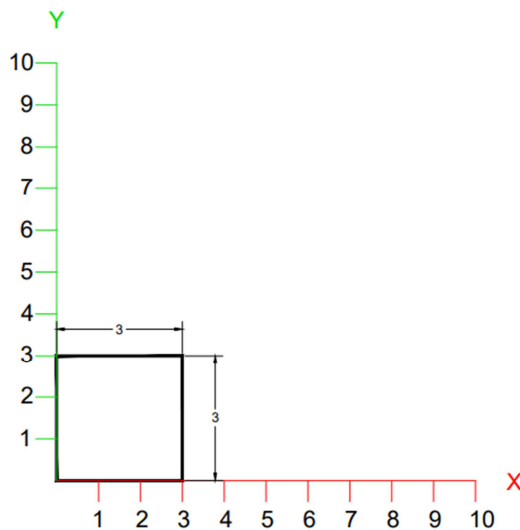


Figura 3. Posición favorable de una pieza (Arriaga Gordillo & Merino Godínez, 2009).

El punto de referencia de máquina, representado por W , determina el sistema de coordenadas de la pieza en relación en el origen máquina. El origen de las coordenadas de la pieza lo elige el programador y se introduce en sistema CNC al preparar la máquina.

La posición del cero pieza puede ser libremente asignada por el programador dentro del espacio del trabajo de la máquina. No obstante, es conveniente situarlo de forma que las

dimensiones de la pieza puedan transformarse fácilmente en valores de coordenadas (Arriaga Gordillo & Merino Godínez, 2009).

2.3.3 Los decalajes de origen

Fagor Automation (2014), menciona que el CNC permite realizar decalajes de origen con objeto de utilizar coordenadas relativas al plano de la pieza, sin necesidad de modificar de los diferentes puntos de la pieza a la hora de programar.

Se define como decalaje de origen a la distancia entre el cero pieza (punto de origen de la pieza) y el cero máquina (punto de origen de la máquina), como se observa en la Figura 4.

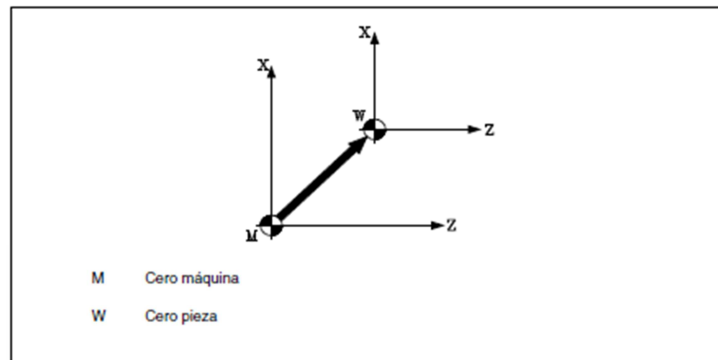


Figura 4. Decalaje de origen (Fagor Automation, 2014).

2.4 Fundamentos de programación

En la programación de control numérico se utiliza una serie de códigos para poder ejecutar las diferentes acciones por parte de la máquina-herramienta, a saber (Fagor Automation, 2014):

- a) Códigos G, son funciones de movimiento de la máquina, tales como movimientos rápidos, avances, avances radiales, pausas, ciclos.

Los códigos G son las funciones preparatorias mediante la letra G seguida hasta de tres cifras (G0-G319). Se programan siempre al comienzo del cuerpo del bloque y sirven para determinar la geometría y condiciones de trabajo del CNC.

En la Tabla 1, se muestran algunas funciones del código G en el CNC.

Tabla 1. Funciones G empleadas en CNC (Fagor Automation, 2014).

Función	Significado
G00	Posicionamiento rápido
G01	Interpolación lineal
G02	Interpolación circular derechas
G03	Interpolación circular izquierdas
G20	Definición límites inferiores zonas de trabajo
G21	Definición límites superiores zonas de trabajo
G22	Habilitación/deshabilitación zonas de trabajo
G30	Sincronización de cabezales (desfase)
G32	Avance F como función inversa al tiempo
G53	Programación respecto al cero máquina
G54	Traslado de origen absoluto 1
G55	Traslado de origen absoluto 2
G56	Traslado de origen absoluto 3
G57	Traslado de origen absoluto 4
G58	Traslado de origen aditivo 1
G59	Traslado de origen aditivo 2
G70	Programación en pulgadas
G71	Programación en milímetros
G74	Búsqueda de referencia máquina
G90	Programación absoluta
G91	Programación incremental
G94	Avance en milímetros (pulgada) por minuto
G95	Avance en milímetros (pulgada) por revolución
G96	Velocidad de corte constante
G97	Velocidad de giro del cabezal en RPM
G159	Traslado de origen absoluto

- b) Códigos M, son funciones misceláneas que se requieren para el maquinado de piezas, pero no son de movimiento, como arranque y paro del husillo, cambio de herramienta, refrigerante, paro del programa, etc.

Según Arriaga Gordillo y Merino Godínez (2009), las funciones M pueden ser clasificadas dentro de los siguientes tres tipos de acuerdo a sus operaciones:

- 1) Comienza a trabajar simultáneamente con el movimiento de los ejes en el bloque.
- 2) Comienza a trabajar después de que el movimiento de los ejes es contemplado, por ejemplo M05 la rotación del husillo principal se detiene después del movimiento de los ejes.

- 3) Comando independientemente al bloque, por ejemplo la función M57, el modelo de herramienta registrado permanece residente hasta que es cancelado por M02 o M30.

En la Tabla 2, se muestran algunas funciones de los códigos M.

Tabla 2. Funciones misceláneas utilizadas en el CNC (Arriaga Gordillo & Merino Godínez, 2009).

Código	Significado	Función
M00	Parada del programa	Detiene la ejecución del programa temporalmente, cuando el bloque M00 es ejecutado, la rotación del husillo principal es detenida, el refrigerante es anulado y la lectura del programa es detenida.
M01	Parada condicional del programa	Al igual que M00, esta función también detiene temporalmente la ejecución del programa cuando el interruptor de paro opcional está activado en (ON) sobre el panel de control de la máquina. Este ignora M01 cuando de paro opcional esta desactivado (OFF).
M02	Final del programa	Muestra la finalización del programa. Todas las operaciones de detienen y la unidad de CN es puesta en condición de reset.
M30	Final del programa con vuelta al inicio	Esta muestra el final del programa como M02, cuando M30 es ejecutado, la operación automática es detenida y el programa es rebobinado (retorno al comienzo del programa).
M03	Rotación del husillo principal en sentido horario	Esta función inicia la rotación del husillo principal en la dirección hacia delante (rotación en el sentido de las manecillas del reloj).
M04	Rotación del husillo principal en sentido anti-horario.	Esta función inicia la rotación del husillo principal en dirección contraria (sentido contrario a las manecillas del reloj).
M05	Paro del husillo principal	Se detiene la rotación del husillo principal.
M06	Cambio de herramienta	Esta función cambia automáticamente la herramienta del husillo principal por otra en posición del cambiador del carrusel.
M08	Activación del refrigerante	Esta función descarga el refrigerante (fluido de corte).
M09	Desactivación del refrigerante	Esta función detiene la descarga del refrigerante.

- c) Velocidad de avance (F), puede ser seleccionada por programa, manteniéndose activa mientras no se programe otra. Se representa con la letra F y según se esté trabajando en G94 o G95 se programa en mm/minuto (pulgada/minuto) o en mm/revolución (pulgada/revolución).

- d) Velocidad del giro del cabezal (S), se programa en revoluciones por minuto (RPM) (G97), o metros por minuto (pies/minutos si se trabaja en pulgadas) si se está en la modalidad de velocidad de corte constante (G96).

2.5 Ejecución de una pieza en una máquina herramienta de CNC.

Sánchez (2010), menciona los siguientes pasos que se deben de considerar para la ejecución de una pieza en el área de maquinado de una máquina-herramienta CNC.

- a) Información previa disponible: Información geométrica y tecnológica del plano, formas, contornos, tolerancias, terminación superficial, material, máquina y herramienta, potencia disponible, desplazamientos y velocidades máximas, cambio manual o automático de pieza y/o herramienta, herramientas a utilizar, etc.
- b) Confección del plan de trabajo: Secuencia de operaciones, utensilios, selección de herramientas, selección de avances y velocidades de corte.
- c) Confección del programa: Estudio geométrico y determinación de coordenadas de puntos particulares de la pieza necesarios para la programación.
- d) Programación en código CNC: Prueba del programa, simulación gráfica en computadora y corrección.
- e) Preparación de la máquina: Simulación del programa, gráfica y en vacío, corrección y puesta a punto en la máquina herramienta.

2.6 Dispositivos de calibración y de localización de ejes

Para la ubicación del origen de la pieza con relación al origen de la máquina, se pueden utilizar diferentes localizadores para tener exactamente el punto de referencia.

La Figura 5, muestra un localizador de centros micro audible, el cual tiene como ventaja que el centro proporciona al operador un clic que suena cuando la punta salta. Estos dispositivos son templados y rectificadas en toda su superficie, funcionan tanto en superficies planas como en redondas (Traverstool, 2017).



Figura 5. Localizador de centros micro audible (Traverstool, 2017).

La Figura 6, muestra un localizador de orillas o llamados “borrachitos”, el cual presenta ventajas para trabajos planos o redondos, es totalmente templado y rectificado (Traverstool, 2017).



Figura 6. Localizador de orillas (Traverstool, 2017).

En la Figura 7, se muestra un localizador electrónico de orillas y 3 dimensiones (X, Y, Z), el cual tiene las siguientes ventajas: localizador de esquinas, precisión, robustez, fabricado con acero, punta de alta sensibilidad y repetitividad $\pm .0002$ ” (Traverstool, 2017).



Figura 7. Localizadores electrónicos de orillas y 3 dimensiones (Traverstool, 2017).

La Figura 8, muestra un localizador de centros para barras, el cual tiene como ventajas que localizan de manera precisa y rápidamente el centro de las piezas redondas, sujeta al bloqueo o a la boquilla, y el centro se localiza cuando las dos marcas del localizador se unen.



Figura 8. Localizadores de centros para barras (Traverstool, 2017).

En la Figura 9, se muestra un Gage Zero setter “pro-touch off” (calibrador del eje Z), el cual establece con precisión las compensaciones de longitud de herramienta para máquinas CNC (Traverstool, 2017).



Figura 9. Gage zero setter "pro-touch off" (Traverstool, 2017).

En la Figura 10, se muestra el localizador electrónico del eje “Z”, el cual ubica la profundidad “Z” con rapidez y precisión. Su ventaja es que puede ser usado de manera directa en la mesa o en la prensa (Traverstool, 2017).



Figura 10. Localizador electrónico de eje "Z" (Traverstool, 2017).

2.7 Tiempo de configuración reducido

Las operaciones de configuración (setup) son especialmente importantes en los lugares de trabajo donde las corridas de producción tienden a ser pequeñas. Aún si este tipo de lugares cuentan con modernas instalaciones y dedican un gran esfuerzo para realizar las operaciones, es probable que tengan problemas en igualar a la competencia si las configuraciones son muy largas debido a una pobre planeación y un herramental ineficiente. Cuando la relación entre tiempo de configuración y el tiempo de corrida de la producción es muy grande, un analista de métodos puede desarrollar varias formas para mejorar la configuración y el herramental (Niebel & Freivalds, 2009).

Las técnicas de justo a tiempo (JIT), las cuales se popularizan en años recientes, hacen hincapié en la reducción de los tiempos de configuración hasta el mínimo mediante su simplificación o eliminación. El sistema SMED (cambio de dado en pocos minutos, Single Minute Exchange Die) del sistema de producción Toyota representa un buen ejemplo de este método. Con frecuencia se puede eliminar parte del tiempo de preparación asegurando que la materia prima cumple con las especificaciones, las herramientas tiene filo y los dispositivos están disponibles y en buen estado (Niebel & Freivalds, 2009).

2.8 Estudio de tiempos

Con el método de registros históricos, los estándares de producción se basan en los registros de trabajos similares, realizados anteriormente. Cualquiera de las técnicas de medición de trabajo, estudio de tiempo con cronómetro, sistemas de tiempo predeterminado, datos estándar, fórmulas de tiempo o estudios de muestreo del trabajo-representan una mejor forma de establecer estándares de producción justos. Todas estas técnicas se basan en el establecimiento de estándares de tiempos permitido para realizar una tarea dada, con los suplementos u holguras por fatiga y por retrasos personales e inevitables. Todos los detalles de estudio se registran en una forma de estudio de tiempos. La forma proporciona espacio para registrar toda la información pertinente sobre el método que se estudia, las herramientas utilizadas, etc., la operación en estudio se identifica mediante información como nombre y número del operario, descripción y número de la operación, nombre y número de máquina,

herramientas especiales usadas y sus números respectivos, el departamento donde se realiza la operación y las condiciones de trabajo prevalecientes (Niebel & Freivalds, 2009).

2.9 Elementos del estudio de tiempos

La conducta real de un estudio de tiempos es tanto un arte como una ciencia. Para asegurar el éxito, los analistas deben ser capaces de inspirar confianza, ejercitar su juicio y desarrollar un acercamiento personal con todos aquellos con quienes tenga contacto. Deben entender a fondo y realizar las distintas funciones relacionadas con el estudio: seleccionar al operario, analizar el trabajo y desglosarlo en sus elementos, registrar los valores elementales de los tiempos transcurridos, calificar el desempeño del operario, asignar los suplementos u holguras adecuadas y llevar a cabo el estudio (Niebel & Freivalds, 2009).

A continuación, se describirá brevemente los elementos del estudio de tiempos propuestos por Niebel y Freivalds (2009).

- Selección del proyecto

El primer paso para comenzar un estudio de tiempos consiste en seleccionar el operario con la ayuda de un supervisor de línea o supervisor de departamento. En general un operario que tiene un desempeño promedio o ligeramente por arriba del promedio proporcionará un estudio más satisfactorio que uno menos calificado o que unos con habilidades superiores.

El operario debe estar completamente capacitado en el método, le debe gustar el trabajo y debe de mostrar interés en hacerlo bien. También debe estar familiarizado con los procedimientos y prácticas del estudio de tiempos y tener confianza tanto en los métodos del estudio de tiempos como en el analista.

- Registro de información significativa

El analista debe registrar las máquinas, herramientas manuales, soportes, condiciones de trabajo, materiales, operaciones, nombre y número del operario, departamento, fecha del estudio y nombre del observador. El espacio para esos detalles se proporciona bajo el título de observaciones en la forma del estudio de tiempos. Entre más información pertinente se

registre, más útil será el estudio de tiempos a través de los años. Se convierte en un recurso para establecer datos estándar y desarrollar fórmulas. También, será útil para la mejora de métodos y la evaluación de los operarios, las herramientas y el desempeño de las máquinas.

Cuando se usan las máquinas-herramienta, el analista debe especificar el nombre, el tamaño, el estilo, la capacidad y el número de serie o inventario, así como las condiciones de trabajo.

- Posición del observador

El observador debe estar de pie, unos cuantos metros atrás del operario, de manera que no lo distraiga o intervenga con su trabajo.

- División de la operación en elementos

Para facilitar su medición, la operación debe dividirse en grupos de movimientos conocidos como elementos. Con el fin de dividir la operación en sus elementos individuales, el analista debe observar al operario durante varios ciclos. Los elementos deben de partirse en divisiones tan finas como sea posible, pero que no sean tan pequeñas como para sacrificar la exactitud de las lecturas.

2.10 Procedimiento para medir el trabajo

García Criollo (2005), menciona que para medir los tiempos de trabajo existen dos premisas fundamentales:

- 1) Las medidas deben de tomarse con la más escrupulosa justicia, es decir, con las mayores garantías de que está perfectamente realizada, ya que la determinación del tiempo se emplea para calcular los salarios con incentivos, por lo cual, si las medidas no son tomadas con verdadero sentido de responsabilidad se producen perjuicios graves para los trabajadores o para la empresa.
- 2) Las medidas deben de tomarse con el grado de exactitud estrictamente necesario, de acuerdo con la importancia de lo que se mide. Si se trata de una operación que se repetirá multitud de veces, es evidente que todas las precauciones y tiempo que se

dedique para asegurar una medición más exacta posible con pocas piezas y elementos técnicos puede resultar más caro que el valor de los posibles errores cometidos.

2.10.1 Estudio de tiempos con cronómetro

García Criollo (2005), menciona que el estudio de tiempos es una técnica para determinar con la mayor exactitud posible, con base en un número de consideraciones, el tiempo necesario para llevar a cabo una tarea determinada con arreglo a una norma de rendimiento establecido.

Un estudio de tiempos con cronómetro se lleva a cabo cuando:

- Se va a ejecutar una nueva operación, actividad o tarea.
- Se presentan quejas de los trabajadores o de sus representantes sobre el tiempo que insume una operación.
- Surgen demoras causadas por una operación lenta, que ocasiona retrasos en las demás operaciones.
- Se pretende fijar tiempos estándar de un sistema de incentivos.
- Se detectan bajos rendimientos o excesivos tiempos muertos de algún grupo de máquinas.

Para poder llevar a cabo el estudio de tiempos se establece las siguientes fases.

I. Preparación

- Selección de la operación
- Selección del trabajador
- Actitud frente al trabajador
- Análisis de comprobación del método del trabajo.

II. Ejecución

- Obtención y registro de la información
- Descomposición de la tarea en elementos
- Cronometraje
- Cálculo del tiempo observado

III. Valoración

- Ritmo normal del trabajador promedio
- Técnicas de valoración
- Cálculo del tiempo base o valorado

IV. Suplementos

- Análisis de las demoras
- Estudio de fatiga
- Cálculo de suplementos y sus tolerancias

V. Tiempo estándar

- Error del tiempo estándar
- Cálculo de frecuencia de los elementos
- Determinación de tiempos de interferencia
- Cálculo de tiempo estándar

2.11 Aspectos generales del estudio de tiempos

García Criollo (2005), define al elemento como una parte esencial y definida de una actividad o tarea determinada compuesta por uno o más movimientos fundamentales del operador y de los movimientos de una máquina o las fases de un proceso seleccionado para fines de observación y cronometraje.

Por otra parte, Kanawaty (1996), menciona que el elemento es la parte delimitada de una tarea definida que se selecciona para facilitar la observación, medición y análisis.

Existen diferentes clases de elementos debido a la naturaleza del ciclo de trabajo, a continuación, se mencionan estos elementos.

- Repetitivos
- Casuales
- Constantes
- Variables
- Manuales
- Mecánicos

- Dominantes
- Extraños

Kanawaty (1996), menciona que el ciclo de trabajo es la sucesión de elementos necesarios para efectuar una tarea y obtener una unidad de producción, comprende a veces elementos casuales.

Del mismo modo, García Criollo (2005), define ciclo de trabajo como un conjunto de operaciones elementales necesarias para realizar determinada tarea. Así mismo, define la hoja de observaciones como una hoja en donde anotan datos tales como el nombre del producto, de la pieza, de la parte, identificación del dibujo, número del estilo, etcétera, datos que se insertan en el anverso en la parte superior derecha.

2.11.1 Valoración del ritmo de trabajo y suplementos

García Criollo (2005), menciona que la calificación de la actuación es la técnica para determinar equitativamente el tiempo requerido por un operador normal para ejecutar una tarea. Se entiende por operador normal, al operador competente y altamente experimentado que trabaje en las condiciones que prevalecen normalmente en la estación de trabajo, a un ritmo ni demasiado rápido ni demasiado lento, sino representativa de un término medio.

Kanawaty (1996), señala que un trabajador calificado es aquel que tiene experiencia, los conocimientos y otras cualidades necesarias para efectuar el trabajo en curso según normas satisfactorias de seguridad, de cantidad y calidad.

Por otra parte, Niebel y Freivalds (2009), definen al operario calificado como un operario completamente experimentado que trabajen las condiciones acostumbradas en la estación de trabajo, a un paso ni demasiado rápido ni demasiado lento, pero representativo de un paso que se puede mantener a lo largo del día.

Kanawaty (1996), menciona que el trabajador verdaderamente promedio no es más que una abstracción y no existe en realidad, pero que se sabe que son nociones necesarias para las estadísticas.

2.11.2 Suplementos u holguras

El desempeño que presenta un operario en la realización de una tarea, no se ajusta a la definición exacta de estándar, por tal motivo los analistas deben considerar aumentar o disminuir el tiempo.

García Criollo (2005), define como suplemento al tiempo que se concede al trabajador con objeto de compensar los retrasos, las demoras y los elementos contingentes que son partes regulares de la tarea. Por otra parte, menciona los siguientes suplementos que se pueden considerar en un estudio de tiempos.

1. Suplementos por retrasos personales
2. Suplementos por retrasos por fatiga (descanso)
3. Suplementos por retrasos especiales, incluye:
 - a) Demoras debidas a elementos contingentes poco frecuentes.
 - b) Demoras en la actividad del trabajador provocadas por supervisión.
 - c) Demoras causadas por elementos extraños inevitables, concesión que puede ser temporal o definitiva.

Así mismo, Niebel y Freivalds (2009), señalan en que partes del estudio se aplican:

1. Al tiempo de ciclo total: se expresan como porcentaje del tiempo de ciclo y compensan demoras como necesidades personales, limpieza de la estación de trabajo y lubricación de la máquina.
2. Solo al tiempo de máquina: incluyen el tiempo para mantenimiento de las herramientas y la varianza en la energía.
3. Sólo al tiempo de esfuerzo manual: son las demoras representativas cubiertas por las holguras de esfuerzo son fatiga y ciertas demoras inevitables.

La Tabla 3, presenta los suplementos recomendados para asignarle a un trabajador.

Tabla 3. Suplementos (Niebel & Freivalds, 2009).

A. Holguras constantes:	
1. Holgura personal.....	5
2. Holgura por fatiga básica.....	4
B. Holguras variables:	
1. Holgura por estar parado.....	2
2. Holgura por posición anormal:	
a) Un poco incómoda.....	0
b) Incómoda (flexionado).....	2
c) Muy incómoda (acostado, estirado).....	7
3. Uso de fuerza o energía muscular (levantar, arrastrar o empujar):	
Peso levantado, lb:	
5.....	0
10.....	1
15.....	2
20.....	3
25.....	4
30.....	5
35.....	7
40.....	9
45.....	11
50.....	13
60.....	17
70.....	22
4. Mala iluminación:	
a) Un poco abajo de lo recomendado.....	0
b) Bastante abajo de lo recomendado.....	2
c) Muy inadecuada.....	5
5. Condiciones atmosféricas (calor y humedad): variable.....	0-100
6. Atención cercana:	
a) Trabajo bastante fino.....	0
b) Trabajo fino o exacto.....	2
c) Trabajo muy fino o muy exacto.....	5
7. Nivel de ruido:	
a) Continuo.....	0
b) Intermitente: fuerte.....	2
c) Intermitente: muy fuerte.....	5
d) De tono alto: fuerte.....	5
8. Esfuerzo mental:	
a) Proceso bastante complejo.....	1
b) Espacio de atención compleja o amplia.....	4
c) Muy complejo.....	8
9. Monotonía:	
a) Baja.....	0
b) Media.....	1
c) Alta.....	4
10. Tedio:	
a) Algo tedioso.....	0
b) Tedioso.....	2
c) Muy tedioso.....	5

2.11.3 Sistema de evaluación Westinghouse

Niebel y Freivalds (2009), mencionan que es uno de los sistemas de calificación que más se han usado por más tiempo, que en sus inicios fue llamado nivelación, fue desarrollado por Westinghouse Electric Corporation. Este sistema de calificación considera los siguientes cuatro factores para evaluar el desempeño del operario, asignándole un valor de acuerdo al criterio del analista:

- Habilidad. Destreza para seguir un método dado. La habilidad es el resultado de la experiencia y las aptitudes inherentes de coordinación natural y ritmo (Tabla 4).
- Esfuerzo. Se define como una demostración de la voluntad para trabajar de manera eficaz. El esfuerzo es representativo de la velocidad con la que aplica la habilidad que, en gran medida, puede ser controlada por el operario (Tabla 5).
- Condiciones. Afectan al operario y no a la operación, incluye temperatura, la ventilación, la luz y el ruido (Tabla 6).
- Consistencia. Valores de tiempos elementales que se repiten constantemente (Tabla 7).

Tabla 4. Sistema Westinghouse para calificar habilidades (Niebel & Freivalds, 2009).

+0.15	A1	Superior
+0.13	A2	Superior
+0.11	B1	Excelente
+0.08	B2	Excelente
+0.06	C1	Buena
+0.03	C2	Buena
0.00	D	Promedio
-0.05	E1	Aceptable
-0.10	E2	Aceptable
-0.16	F1	Mala
-0.22	F2	Mala

Tabla 5. Sistema Westinghouse para calificar el esfuerzo (Niebel & Freivalds, 2009).

+0.13	A1	Excesivo
+0.12	A2	Excesivo
+0.10	B1	Excelente
+0.08	B2	Excelente
+0.05	C1	Bueno
+0.02	C2	Bueno
0.00	D	Promedio
-0.04	E1	Aceptable
-0.08	E2	Aceptable
-0.12	F1	Malo
-0.17	F2	Malo

Tabla 6. Sistema Westinghouse para calificar condiciones (Niebel & Freivalds, 2009).

+0.06	A	Ideal
+0.04	B	Excelente
+0.02	C	Bueno
0.00	D	Promedio
-0.03	E	Aceptable
-0.07	F	Malo

Tabla 7. Sistema Westinghouse para calificar la consistencia (Niebel & Freivalds, 2009).

+0.04	A	Perfecta
+0.03	B	Excelente
+0.01	C	Buena
0.00	D	Promedio
-0.02	E	Aceptable
-0.04	F	Mala

2.11.4 El tiempo tipo o estándar

García Criollo (2005), define al tiempo estándar como el tiempo que se concede para efectuar una tarea, en él están incluidos los tiempos de los elementos cíclicos, así como los elementos casuales o contingentes que fueron observados durante el estudio de tiempos. A estos tiempos ya valorados se les agrega los suplementos siguientes: personales, por fatiga y especiales (Figura 11).

Kanawaty (1996), señala que el tiempo estándar es el tiempo total de ejecución de una tarea.

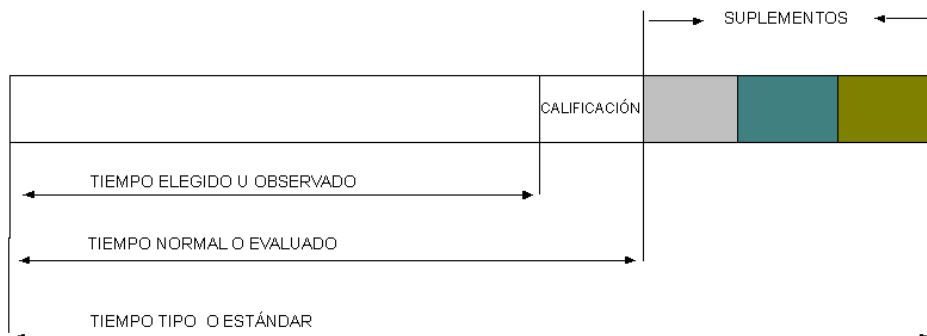


Figura 11. Descomposición de ciclo de trabajo (García Criollo, 2005).

2.12 Despliegue de la función de calidad (DFC)

El proceso del despliegue de la función de calidad es un proceso riguroso de planeación para asegurar que se satisfacen los requerimientos del cliente. Puede abatir tiempo que se requiere para diseñar nuevos productos, y puede usarse, asimismo, para rediseñar los procesos de negocios (Jay, 2003).

El despliegue de la función de calidad es una herramienta de planeación que introduce la voz del cliente en el desarrollo y diseño del producto. Es un mecanismo formal para asegurar que la voz del cliente sea escuchada a lo largo del desarrollo del proyecto. También identifica medios específicos para asegurar que los requerimientos del cliente sean cumplidos por todas las actividades funcionales de la compañía. Para implementar el DFC se utilizan varias matrices, cuyo propósito es establecer una manera sistemática de asignar responsabilidades para desplegar la voz del cliente, trasladando los requerimientos en parámetros de diseño y fabricación (o en actividades específicas). Así, el papel del DFC es entender las necesidades del cliente y transfórmalas en acciones específicas, identificar áreas que requieran atención y mejoramiento, y establecer las bases para futuros desarrollos (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004).

2.12.1 Pasos de un análisis con la matriz o casa de la calidad

Enseguida, se muestran los pasos para realizar un análisis mediante la casa de la calidad (Figura 12).

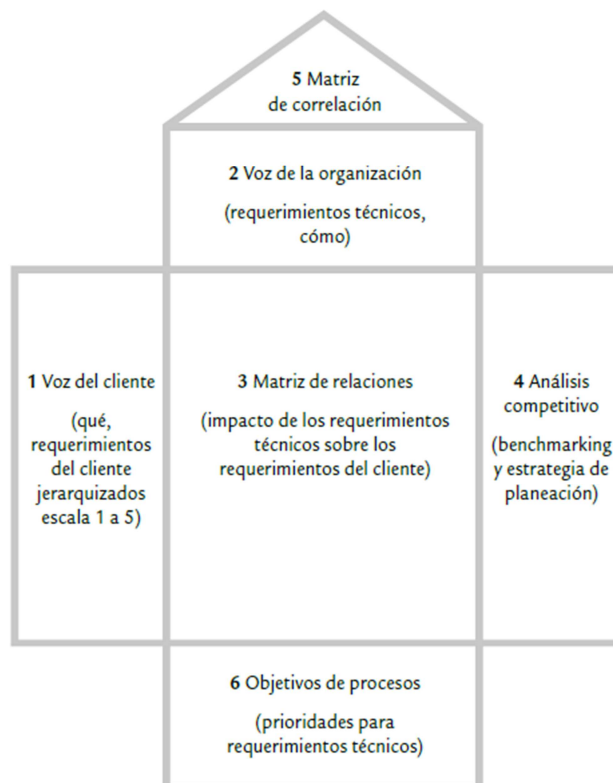


Figura 12. Forma de la casa de la calidad (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004).

- Primero: hacer una lista de objetivos o requerimientos del proyecto. Esta es una lista de requerimientos del cliente o prioridades de primer nivel que se anotan de manera horizontal y es conocida como la voz del cliente y son aquellos en los que el proyecto quiere incidir.
- Segundo: definir las prioridades de cada requerimiento. Esa prioridad se fija en una escala de 1 y 5, es el 5 la más alta prioridad, por lo general se obtiene a partir de la situación actual de cada qué y de los objetivos que se persiguen en el proyecto de mejora.
- Tercero: hacer una lista de cómo(s) y anotarlos en la parte vertical de la matriz. Son las diferentes formas inmediatas en las cuales se puede atender los qué(s) y sobre estos cómo(s) es necesario cuantificar su importancia para atender los diferentes qué(s).
- Cuarto: cuantificar la intensidad de la relación entre cada qué contra cada cómo. Utilizando una escala de 0 a 5, asignar 5 en el caso de una relación muy fuerte, 3 para una relación fuerte, 1 para una relación débil y 0 para ninguna relación.
- Quinto: calcular la importancia de cada cómo respecto a su contribución a todos los qué. Esto se hace multiplicando la prioridad de cada qué por la intensidad de la relación y sumando los resultados.
- Sexto: calcular la importancia relativa de cada cómo respecto a su contribución a todos los qué. Para ello tomar la importancia más alta y asignarle una importancia relativa de 10, y a partir de ahí por regla de tres calcular la importancia relativa de los otros cómo(s).
- Séptimo: investigar si hay alguna correlación muy fuerte (sobre todo negativa) entre los cómo(s).
- Octavo: asignar objetivos para los cómo(s) de acuerdo a su importancia, y anotarlos en la forma de la DFC. Si se cumple con este objetivo se estará actuando de acuerdo a la voz del cliente.
- Noveno: tomar decisiones pertinentes y, de ser el caso, continuar a las siguientes fases de análisis DFC. En caso de que se continúe el análisis DFC, los cómo(s) serán los nuevos qué(s) de la siguiente matriz DFC, en el siguiente nivel de despliegue (Figura 13). Las prioridades de los nuevos qué(s) serán de igual a la importancia relativa que obtuvieron en la matriz previa. Aplicar los pasos anteriores, a partir del tercer paso.

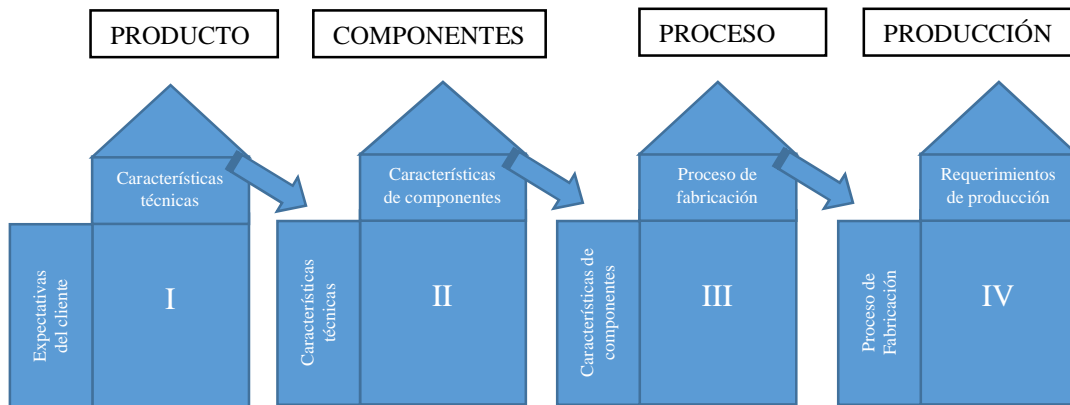


Figura 13. Fases subsiguientes del DFC (Chan & Wu, 2002).

Capítulo 3. Método de investigación

El método utilizado para el desarrollo de las actividades del presente trabajo es el procedimiento sistemático de métodos y medición del trabajo, establecido por Niebel y Freivalds (2009) que consiste en 8 etapas:

3.1 Selección del proyecto

En el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura localizado en las instalaciones de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, existen varias máquinas-herramienta que son utilizadas por alumnos, tesistas, técnicos y profesores para realizar sus proyectos con respecto al maquinado de piezas.

La elección de proyecto de tesis se debió a las siguientes razones

- Se identificó el área de oportunidad y problemática en el proceso de calibración de herramientas y localización de puntos ceros en el área de maquinado de un CMV.
- No se contaba con un método definido y estandarizado para realizar el proceso de calibración de herramientas y localización de ceros en el área de maquinado de un CMV de manera rápida y eficiente.
- Era posible reducir el tiempo de este proceso con la ayuda e implementación de un dispositivo electrónico.
- El dispositivo diseñado y fabricado cubrirá las necesidades de los clientes-usuarios.
- El costo de diseño y fabricación del dispositivo de calibración será menor con respecto a los calibradores que existen comercialmente.

Según Niebel y Freivalds (2009), para una buena selección de un proyecto, en este caso resolver y mejorar un proceso de preparación del área de maquinado en un centro de maquinado vertical, se deben considerar tres aspectos importantes, lo económico, lo técnico y lo humano.

- En la parte económica, para este proyecto se enfocó básicamente en el costo comercial de un calibrador electrónico de eje Z, por lo que se diseñó y fabricó un calibrador con

las necesidades puntuales de los usuarios, pero reduciendo el precio de éste en comparación a los calibradores electrónicos de eje Z, que existen comercialmente.

- En lo que se refiere a la parte técnica, con la ayuda del calibrador se mejoró con respecto a la reducción del tiempo y se estandarizó el proceso de preparación del área de maquinado en el centro de maquinado vertical.
- En la parte humana, se considera el proceso de preparación del área de maquinado como repetitiva, por lo tanto, con la mejora y estandarización del proceso, los usuarios se deberán sentir más capacitados y seguros al momento de realizar esta actividad.

Se identificó el área de oportunidad y el problema a resolver en el proceso de calibración de herramientas y localización de puntos ceros en el área de maquinado de un CMV ubicado en el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura, el cual se realiza sin un método bien definido y estandarizado para realizarlo de manera rápida y eficiente, por lo tanto, este proyecto tiene como objetivo principal reducir el tiempo de este proceso con la ayuda de un dispositivo electrónico.

3.2 Obtención y presentación de datos

Se midió el tiempo actual que tarda un usuario en sujetar las piezas a maquinar y en preparar el área de trabajo que contempla el montaje de herramientas y la localización de puntos ceros, así como las actividades que se realizan en este proceso.

En un estudio preliminar, se encontró que actualmente la calibración de 3 herramientas y localización de puntos ceros en la pieza de trabajo oscila entre 30 y 40 minutos, considerando el ensamble de los cortadores al portaboquillas tipo CAT 40 y montaje al carrusel de herramientas del CMV, posicionamiento de la pieza a maquinar en la mesa de trabajo de la máquina, localización del origen de la máquina, ubicación del origen de la pieza e introducción de coordenadas del origen de la pieza al control del CMV y la simulación del maquinado.

Para poder mejorar un trabajo, proceso o actividad es necesario conocer y saber en qué consiste, para ello, la recolección de datos es necesariamente mediante la observación directa, sin interrupciones que pudieran afectar su posterior análisis.

Por tal motivo, el estudio se realizó en el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura, donde se recabó la información necesaria para el desarrollo de este proyecto de tesis. Cabe mencionar que solo se analizó y se obtuvo información con respecto a la calibración de las herramientas en el carrusel de herramientas y de la localización de puntos de ceros en el CMV. Por lo tanto, queda excluido la información, equipo, material u otra información extra que se requiera para el maquinado de una pieza de trabajo. Debido a que son factores que podrían afectar de manera directa al propósito de este proyecto de tesis.

Para la toma de tiempos del proceso de calibración de herramientas y localización de puntos ceros del CMV, se consideraron tres cortadores o herramientas de corte, ya que es la cantidad de herramientas necesarias, que regularmente, se requieren para el maquinado de una pieza en el laboratorio:

- El primer cortador realizaría el proceso de careado, para dejar plana la parte superior de la pieza de trabajo y perpendicular al eje de corte.
- El segundo cortador ejecutaría el proceso de desbaste y darle forma a la pieza de trabajo.
- Por último, el tercer cortador haría procesos más específicos o detallados que son los acabados y rectificadas de las piezas.

La toma de tiempos termina hasta el punto que el usuario inserta el comando G54, en el panel de control, finalizando de esa manera el alistamiento para el maquinado, solo faltaría simular el código del maquinado, pero eso depende de cada operador o usuario del centro de maquinado vertical.

En el siguiente diagrama (Figura 14) se muestra el proceso actual de calibración de herramientas y localización de ceros de una pieza de trabajo.

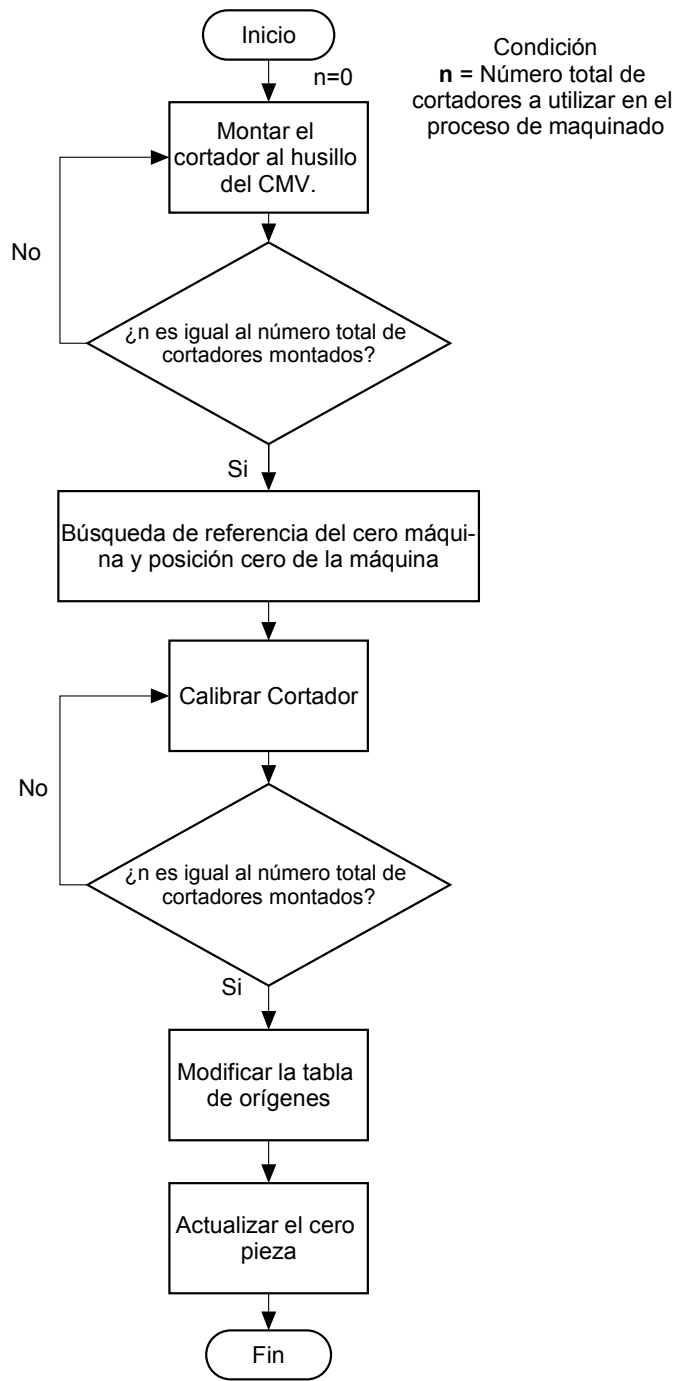


Figura 14. Diagrama del proceso actual de calibración de herramientas y localización de ceros de la pieza de trabajo en un CMV (Fuente: Propia).

Antes de iniciar el proceso de calibración de herramientas y localización de ceros pieza de un trabajo en el CMV. Se debe tener lo siguiente:

- Las herramientas y cortadores necesarios.
- Colocar el material a maquinar en la bancada (mesa de trabajo).
- Energizar la compresora de aire y CMV desde el centro de carga.
- Abrir la válvula de aire y depurar la trampa de humedad.
- Revisar que la presión esté a:
 - 5 kg/cm² en el manómetro ubicado en la parte inferior.
 - 2 a 3 kg/cm² en el manómetro ubicado en la parte superior.
- Verificar que el nivel de aceite no esté por debajo de 0.5 litros.
- Encender el CMV en la parte posterior.
- Encender el panel de control (botón verde) en la parte anterior.
- El modo de trabajo M (manual) aparece en la pantalla.

Posteriormente, se procede al proceso de alistamiento del área de trabajo para un maquinado en el CMV:

- En el panel de control, en la opción MDI se ingresa el código T y un número que indica la posición del cortador en el carrusel de herramientas, por ejemplo, el código T02 posiciona al cortador en el lugar número 2 del total de 16 posiciones que tiene el carrusel, además, se anota el código M06 que indica el cambio de herramienta; al final se presiona “marcha” para ejecutar el comando.
- Se coloca el cono con el cortador ensamblado en la boquilla en el husillo del CMV. Esta operación se realiza cuantas veces de requiera, es decir, se realiza dependiendo de la cantidad de cortadores a utilizar en el maquinado. Lo único que cambia es la posición del cortador en el carrusel de herramientas del CMV.
- En la misma opción MDI, se prosigue a la búsqueda del cero máquina o “home”, ingresando el Código G74 y ejecutando el comando con “marcha”.
- Se ingresa el código G53 para posicionar el cero de la pieza al cero de la máquina.
- Para la calibración de herramientas, se utilizan las teclas de posicionamiento y el volante del CMV, para controlar el cortador montado en husillo. Una vez que se tiene el cortador cerca del cero pieza elegido por el operario, se posiciona el calibrador electrónico con el que cuenta el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura y se ubica el extremo del cortador en la parte superior del calibrador electrónico con

ayuda del volante, cuando se encuentren en contacto, el calibrador electrónico hace su función, es decir, enciende un foco luminiscente, y es en ese momento cuando se captura los valores de las coordenadas en la pantalla que muestra la Figura 15, la cual se obtiene presionando los botones Shift + Esc + F1 en el panel de control.

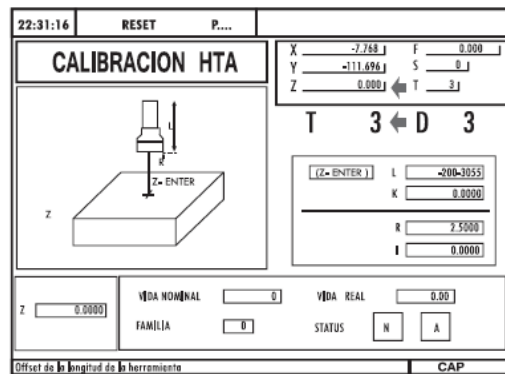


Figura 15. Pantalla para la calibración de herramientas (Fagor Automation, 2014).

- Se presionan los botones Z + Enter en el panel de control y después se oprime el botón Reset, con esto el valor de Z se vuelve cero sobre la superficie que anteriormente fue colocado el cortador.

Con lo anterior, se realiza la calibración de una herramienta, por lo tanto, para calibrar todos los cortadores que se requieran para un maquinado, es necesario cambiar los cortadores ejecutando el comando de herramienta y cambio, por lo que, en el panel de control se debe repetir los puntos descritos, a excepción de que no se oprime el botón Reset, ya que solo se hace para el primer cortador. En seguida, se modifica la tabla de orígenes, y para ello, se oprime dos veces el botón Zero en el panel de control, mostrando la pantalla que se presenta en la Figura 16.

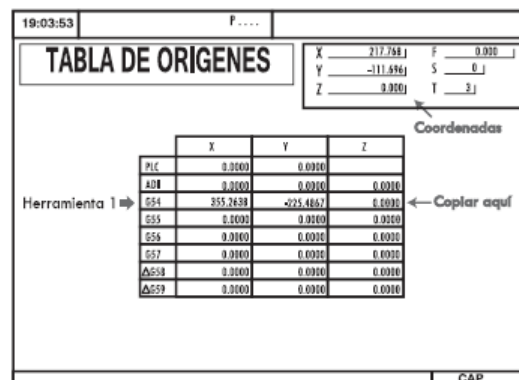


Figura 16. Pantalla para la edición de las coordenadas (Fagor Automation, 2014).

La edición del cuadro se realiza en la fila que contiene el código G54, la modificación se hace copiando los valores de las coordenadas X, Y, Z que se localizan en la parte superior derecha de la pantalla, oprimiendo Enter para pasar al siguiente recuadro de coordenada.

Cabe mencionar que se considera la medida del calibrador electrónico, al momento de editar la coordenada Z, ya que éste se encuentra encima de la pieza a calibrar. Terminada esta operación se oprimen los botones Shift + Esc para regresar a la pantalla estándar del modo de trabajo del CMV. Por último, se ingresa el código G54 y se oprime “marcha” para poder simular y ejecutar el programa de control numérico, pero eso ya no está considerado en este trabajo.

3.3 Análisis de datos


Con la información registrada, se realizó un análisis para satisfacer las necesidades de los usuarios con el propósito de reducir el tiempo de calibración de herramientas y localización de puntos ceros en el área de maquinado del CMV, con la ayuda de métodos y técnicas de ingeniería industrial.

Conociendo el proceso actual de calibración de herramientas y localización de los ceros de la pieza de trabajo, se determinó el número de observaciones necesarias para su análisis por medio del criterio que propone General Electric (Tabla 8). La duración del ciclo del proceso estudiado fue cronometrada y se estableció un tiempo de 9 minutos con 51 segundos. Por lo tanto, para este estudio se consideraron 10 ciclos para su análisis (Tabla 9).

Tabla 8. Criterio de General Electric (Niegel & Freivalds, 2009).

Tiempo de ciclo (minutos)	Número recomendado de ciclos
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
2.00-5.00	15
5.00-10.00	10
10.00-20.00	8
20.00-40.00	5
40.00 o más	3

Tabla 9. Hoja de estudio de tiempos (Fuente: Propia).

		ESTUDIO DE TIEMPOS									
		Área	Manufactura				Máquina		Centro de Maquinado Vertical		
Tiempo		min:seg				Modelo		MM430	Serie	082121352	
Proceso		Calibración de herramientas al carrusel y localización de origen de la pieza de trabajo en el CMV.									
Fecha		13/10/2017				Estudio Núm.		1			
Elementos		Ciclos									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Montar 3 cortadores al Husillo del CMV	01:21	01:19	01:16	01:34	01:41	01:45	01:33	01:18	01:29	01:37
2	Búsqueda del cero Máquina (G74) y Posición del cero Máquina (G53)	01:05	00:54	00:48	00:56	01:01	01:00	00:51	00:49	00:55	00:40
3	Calibrar el último cortador montado	01:32	01:28	01:42	01:26	01:39	01:33	01:38	01:46	01:31	01:37
4	Calibrar el penúltimo cortador montado	00:47	00:56	01:11	00:57	00:48	00:51	01:04	01:01	00:45	01:03
5	Calibrar el primer cortador montado	01:05	01:01	00:52	00:59	00:46	01:00	00:53	00:44	01:02	00:47
6	Modificar y Editar la Tabla de orígenes (G54)	00:46	00:36	00:31	00:33	00:41	00:38	00:30	00:43	00:35	00:34
7	Llamar el comando G54	00:11	00:18	00:15	00:14	00:17	00:17	00:16	00:18	00:13	00:19
Tiempo total de ciclo		06:47	06:32	06:35	06:39	06:53	07:04	06:45	06:39	06:30	06:37
Analista		Ángel Hernández Ibáñez									
Operario		Operario 1									
Observaciones		Se realizó el proceso actual con ayuda del calibrador existente en el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura									

3.4 Desarrollo del método ideal

Se desarrolló un método que contempló el uso de un dispositivo electrónico para reducir el tiempo de alistamiento de la pieza de trabajo, la seguridad del usuario en la preparación del área y la reducción de tiempos y movimientos de este proceso. En este punto, se presenta la fabricación de un calibrador electrónico, a partir de la información del análisis de datos. El proceso de manufactura del calibrador contempla el ensamble e instalación del circuito electrónico.

Actualmente, son más las exigencias de los usuarios con respecto a las especificaciones de un producto o servicio nuevo que se piensa fabricar u ofrecer, según sea el caso. Esto es, debido a los avances tecnológicos tanto en equipo como maquinaria, en general los usuarios o clientes buscan la calidad, ante todo, pero respetando el diseño, el costo, colores, formas, etc.

El desarrollo del método para la reducción del tiempo en la preparación del área de maquinado, fue fundamental diseñar y fabricar un dispositivo que contemplará las necesidades de los usuarios, por lo tanto, fue necesario realizar una encuesta.

Las preguntas fueron realizadas a personas que tienen cierto conocimiento respecto al uso del calibrador electrónico, así como, del proceso de preparación del área de maquinado en un

CMV; las personas encuestadas fueron alumnos, tesisistas, técnicos y profesores que utilizan el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura.

Con la información recabada se utilizó la metodología Despliegue de la Función de Calidad (DFC). Esta metodología prioriza las necesidades de los clientes de acuerdo a su importancia, así mismo, traduce las necesidades del cliente en características técnicas y especificaciones. Los beneficios que pueden obtenerse son la reducción de tiempos en el desarrollo de nuevos productos, la optimización del producto en función de las expectativas del cliente y la reducción de costos por fallos.

La primera fase del DFC es con respecto al producto o servicio, para efecto de esta tesis fue de acuerdo a un producto: el calibrador electrónico. Esta fase se desarrolló en una matriz conocida como Casa de la Calidad.

La Figura 17, muestra la primera Casa de la Calidad para obtener los requerimientos técnicos del calibrador electrónico, a partir de las siguientes necesidades de los usuarios: fácil posicionamiento en el CMV, fácil sujeción, bajo peso, partes reemplazables, costo bajo, soporte golpes, fácil manejo.

Por otra parte, en la Figura 18, se presenta la segunda Casa de la Calidad respecto a los requerimientos técnicos de los componentes del calibrador electrónico.

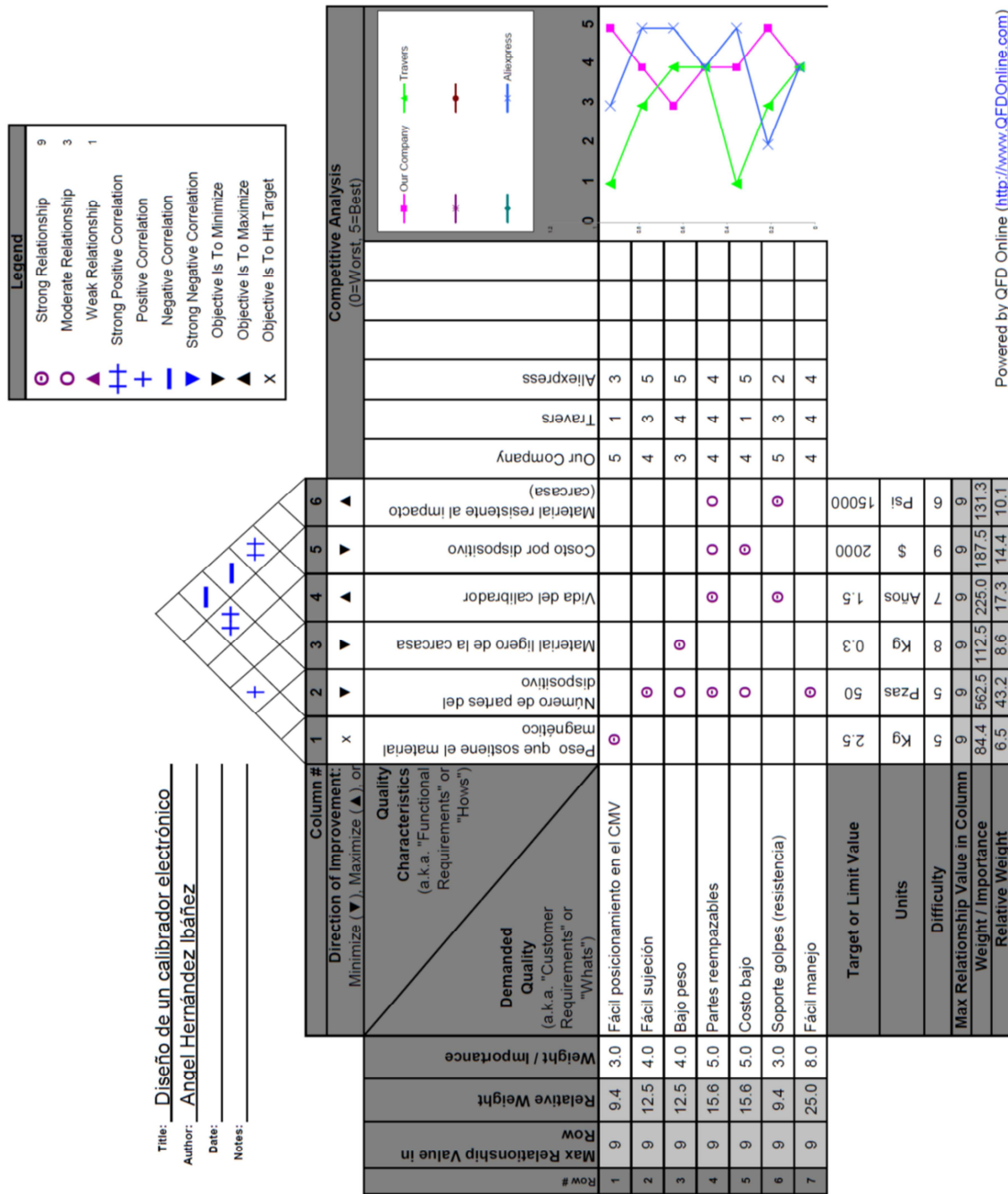


Figura 17. Primera casa de la calidad con respecto al producto (Fuente: Propia).

Title: Diseño de un calibrador electrónico
 Author: Ángel Hernández Ibáñez
 Date: _____
 Notes: _____

				Column #							
				1	2	3	4	5	6	7	
				Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (X)							
				Quality Characteristics (a.k.a. "Hows")							
Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Demanded Quality (a.k.a. "Whats")							
1	1	6.5	84.4	▲							
2	3	43.2	562.5		○	○	○	▲	▲	▲	
3	1	8.6	112.5					▲			
4	9	17.3	225.0		○			○	○	○	
5	9	14.4	187.5	▲	○		○		▲	▲	
6	1	10.1	131.3				▲				
Target or Limit Value				3 cm ³	12 voltios	100 cm ³	\$100.00	1 año 3 meses	60 dB	80 mcd	
Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)				5	6	7	8	8	6	6	
Max Relationship Value in Column				1	9	3	9	9	3	3	
Weight / Importance				20.9	328.1	129.5	269.1	207.2	109.4	109.4	
Relative Weight				1.8	28.0	11.0	22.9	17.7	9.3	9.3	

Figura 18. Segunda casa de la calidad con respecto a los componentes del calibrador electrónico (Fuente: Propia).

3.4.1 Propuestas del calibrador electrónico para el eje Z.

Propuesta uno.

Para esta primera propuesta se consideró el mismo diseño del calibrador electrónico de eje Z utilizado en el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura, es decir, igual tamaño y material de fabricación. Los materiales empleados son nylamid y aluminio. Los componentes que tiene este dispositivo son: una batería de 1.5 voltios, un foco incandescente y unas placas de cobre que hacen la función de conductor para hacer funcionar el dispositivo.

Después de conocer la función del calibrador, sus componentes y precio en el mercado, surgió la idea de diseñar y fabricar un dispositivo que cumpliera con la misma función que este dispositivo, pero reduciendo costos en su fabricación. La modificación relevante de esta propuesta es en la parte electrónica y el agregar un componente audible, es decir, que cuando el dispositivo cumpla su función, se pueda corroborar de manera visual y audible (Figura 19).

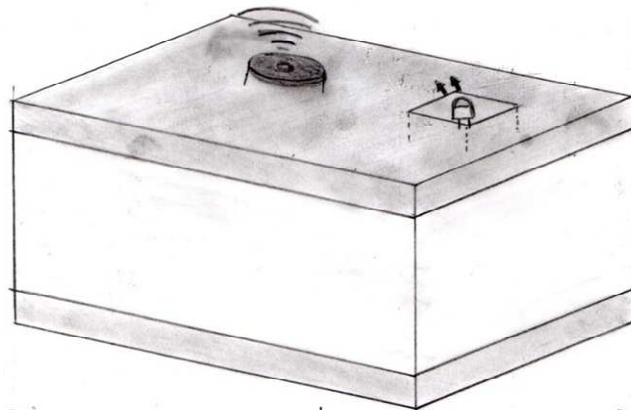


Figura 19. Boceto del primer diseño del calibrador electrónico (Fuente: Propia).

Propuesta dos.

En este caso, se consideró diseñar el dispositivo en dos partes, es decir, una parte que el dispositivo cumpliera la función de iluminar y emitir un sonido; y la otra parte, fuera una placa de aluminio rectificadora, ensamblada y/o conectada al dispositivo por medio de cables y un conector banana. Del dispositivo saldrían dos cables, una conectada a la placa del aluminio y la otra a un caimán (pinzas).

La estructura del diseño de este calibrador tendría que ser de sujeción manual, es decir, que el usuario pudiera tener entre sus manos el dispositivo (Figura 20).

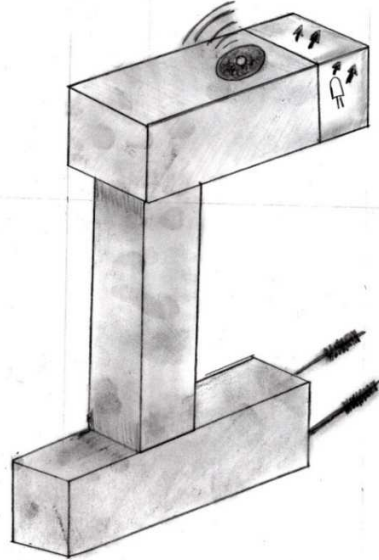


Figura 20. Boceto del segundo diseño del calibrador electrónico (Fuente: Propia).

Propuesta tres.

En esta alternativa, se optó por independizar el calibrador de las manos del usuario, para eso fue necesario considerar unos imanes para que fueran ensamblados al dispositivo y este pudiera posicionarse en cualquier parte del CMV, respetando las dos partes que se habían mencionado en la propuesta dos (Figura 21).

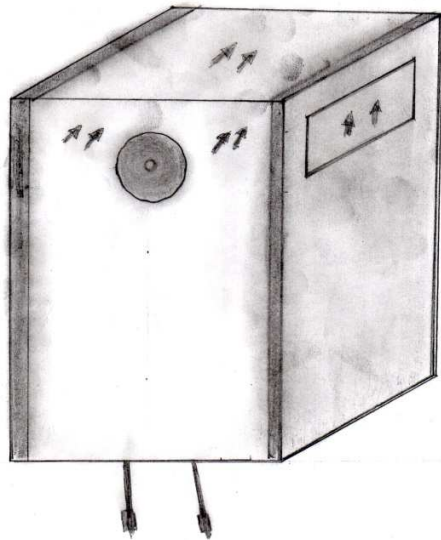


Figura 21. Boceto del tercer diseño del calibrador electrónico (Fuente: Propia).

Para elegir la mejor opción, se realizó una evaluación de alternativas que se presenta Tabla 10, en esta evaluación, se realizó una ponderación de los factores identificados por los usuarios, la cual representa una proporción de la importancia de cada uno de ellos. Así mismo, la calificación de alternativas representa la proporción del cumplimiento de cada factor evaluado.

Tabla 10. Evaluación de alternativas de los calibradores (Fuente: Propia).

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS							
PROYECTO: Método para la reducción del tiempo de preparación de la pieza de trabajo en un centro de maquinado vertical	ALTERNATIVAS	Propuesta uno		Propuesta dos		Propuesta tres	
		En base al calibrador existente		Sujeción manual		Independizar las manos	
ALTERNATIVAS: Calibrador electrónico de localización del eje Z.							
ANALISTA: Ángel Hernández Ibáñez							
FACTOR/CONSIDERACIÓN	PESO	Calificaciones y calificaciones ponderadas					
		A		B		C	
Fácil posicionamiento en el CMV	0.3	0.2	0.06	0.3	0.09	0.5	0.15
Calibración para diferentes tamaños de materiales	0.3	0.2	0.06	0.4	0.12	0.4	0.12
Partes reemplazables	0.1	0.33	0.03	0.33	0.033	0.33	0.03
Estética	0.1	0.3	0.03	0.4	0.04	0.3	0.03
Desempeño electrónico	0.2	0.33	0.07	0.33	0.066	0.33	0.07
Totales	1		0.25		0.349		0.4

Por lo anterior, se seleccionó la propuesta tres, debido a que obtuvo una mayor puntuación de la evaluación realizada.

3.4.2 Proceso de fabricación del calibrador electrónico

El primer paso para fabricar el calibrador, fue investigar sobre los circuitos electrónicos que hicieran la función de un probador de continuidad audible. En la Figura 22, se presenta el primer circuito que se probó, y en la Figura 23, se observa los componentes armados en un protoboard.

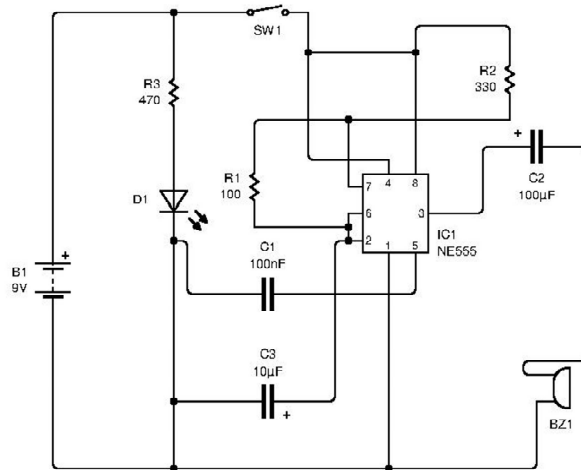


Figura 22. Primer circuito electrónico que funciona como probador de continuidad audible (Fuente: Propia).

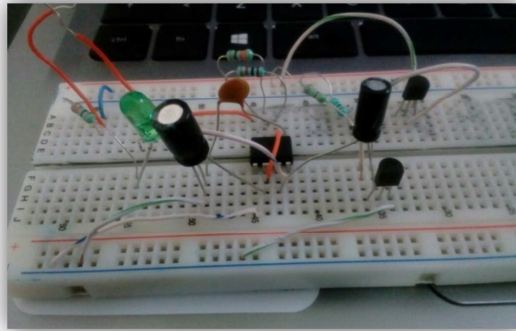


Figura 23. Primer circuito armado en un protoboard (Fuente: Propia).

Los componentes que conforman este circuito son los siguientes:

- Circuito integrado NE 555
- 1 led
- 1 resistor de 470 k Ω
- 1 resistor de 330 Ω

- 1 resistor de 100Ω
- 1 capacitor de 100 nF
- 1 capacitor de $10 \mu\text{F}$
- 1 capacitor de $100 \mu\text{F}$
- 1 batería de 9 V
- 1 buzzer de 8Ω

El interruptor del circuito controla el voltaje de alimentación del circuito. Cuando se cierra, el circuito se energiza y el dispositivo sonoro se activa. El inconveniente que se tiene con este circuito es que tiene capacitores electrolíticos, los cuales, después de un tiempo que se le suministra energía, su proceso natural es la descarga de esta energía, y esta energía es suficiente para hacer funcionar el buzzer (emitir el sonido) sin que las dos terminales este unidas, por tal motivo se prosiguió a investigar un segundo circuito de probador de continuidad audible.

En la Figura 24, se muestra el segundo circuito electrónico que hace la función de un probador de continuidad audible. Así mismo, en la Figura 25, se observa los componentes que lo integran, a saber:

- 5 resistores de $100 \text{ K}\Omega$
- 1 resistor de 100Ω
- 2 resistores de $1 \text{ K}\Omega$
- 1 resistor de $470 \text{ K}\Omega$
- 1 capacitor de 1 nF
- 1 capacitor de $100 \mu\text{F}$
- 1 transistor NPN BC 549
- 1 transistor PNP BC 558
- Circuito integrado Lm 741
- 1 buzzer de 8Ω

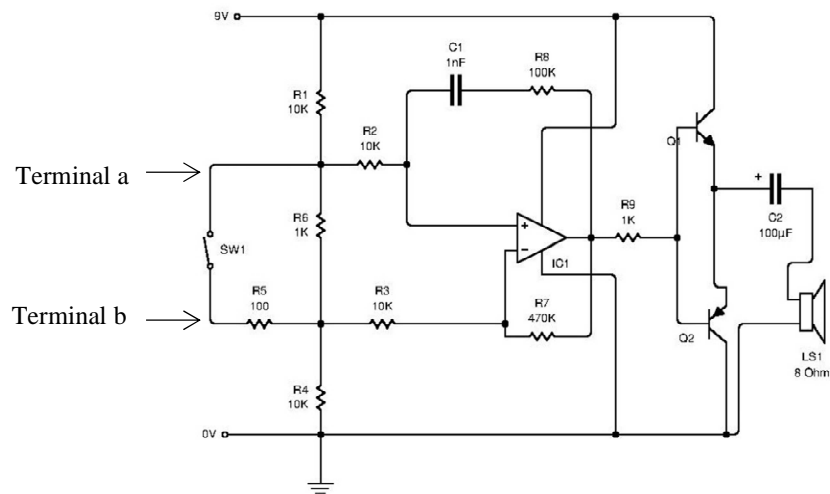


Figura 24. Segundo circuito con función de un probador de continuidad audible (Fuente: Propia).

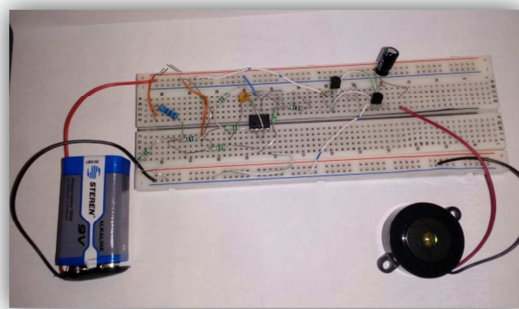


Figura 25. Segundo circuito armado en un Protoboard (Fuente: Propia)

Al igual que el primer circuito, debido a la descarga del capacitor electrolítico, provoca la activación del buzzer, aún cuando no hagan contacto las terminales a y b, por tal motivo se optó por un tercer circuito electrónico.

El tercer circuito se presenta en la Figura 26, y de igual forma que los anteriores, sus componentes fueron ensamblados en un protoboard (Figura 27), los cuales son:

- 1 buzzer de 8 Ω
- 1 circuito integrado NE555
- 1 transistor 2N3904

- 1 resistor de 220 Ω
- 1 resistor de 120 K Ω
- 1 resistor de 1 K Ω
- 1 resistor de 10 Ω
- 1 capacitor 0.01 μ F

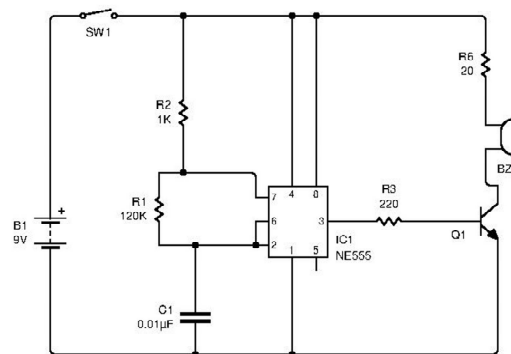


Figura 26. Tercer circuito electrónico con función de un probador de continuidad (Fuente: Propia).

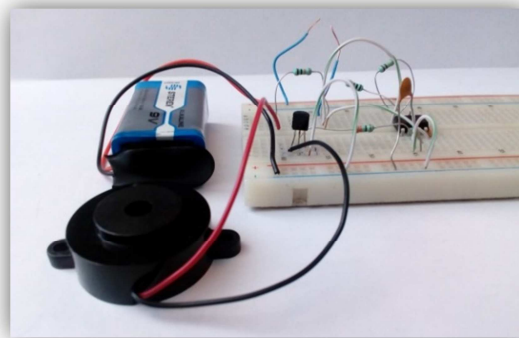


Figura 27. Tercer circuito armado en el protoboard (Fuente: Propia)

En la Tabla 11, se presenta la evaluación de alternativas para seleccionar el circuito que cumpla con los requerimientos de funcionamiento.

Tabla 11. Evaluación de alternativas para circuitos (Fuente: Propia).

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS							
PROYECTO: Método para la reducción del tiempo de preparación de la pieza de trabajo en un centro de maquinado vertical	ALTERNATIVAS	Primer circuito		Segundo circuito		Tercer circuito	
ALTERNATIVAS: Circuito electrónico		Uso del componente electrónico NE 555.		Uso de componentes electrónicos LM 741 y transistores npn, pnp.		Uso del componente electrónico LM NE 555 y transistor npn.	
ANALISTA: Ángel Hernández Ibáñez							
FACTOR/CONSIDERACIÓN	PESO	Calificaciones y calificaciones ponderadas					
		A		B		C	
Funciona como un probador de continuidad audible	0.25	0.33	0.0825	0.33	0.0825	0.33	0.0825
Componentes electrónicos comerciales	0.15	0.33	0.0495	0.33	0.0495	0.33	0.0495
Eficiencia del circuito	0.45	0.2	0.09	0.2	0.09	0.6	0.27
Cantidad de componentes que conforman el circuito	0.15	0.35	0.0525	0.2	0.03	0.45	0.0675
Totales	1		0.2745		0.25		0.4695

Por lo tanto, se eligió el tercer circuito para su fabricación. Sin embargo, se busca que el calibrador cumpla la función de emitir sonido y luz, por lo que, se le incluyó dos leds y un transistor al circuito seleccionado.

La configuración final del circuito se presenta en la Figura 28. Por otra parte, la Figura 29, muestra el diagrama de bloques del proceso de funcionamiento, y los componentes ensamblados en un protoboard se muestran en la Figura 30.

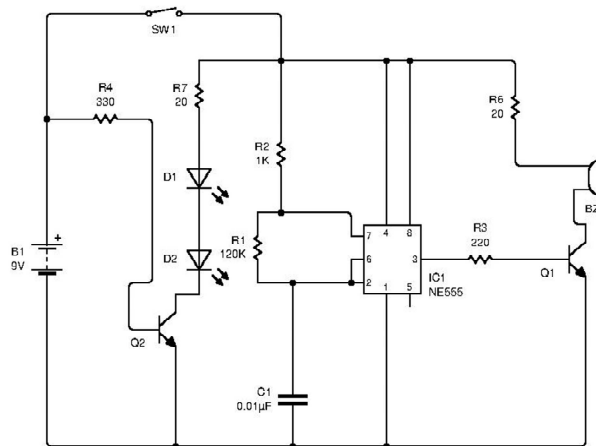


Figura 28. Circuito final con función de un probador de continuidad audible (Fuente: Propia).

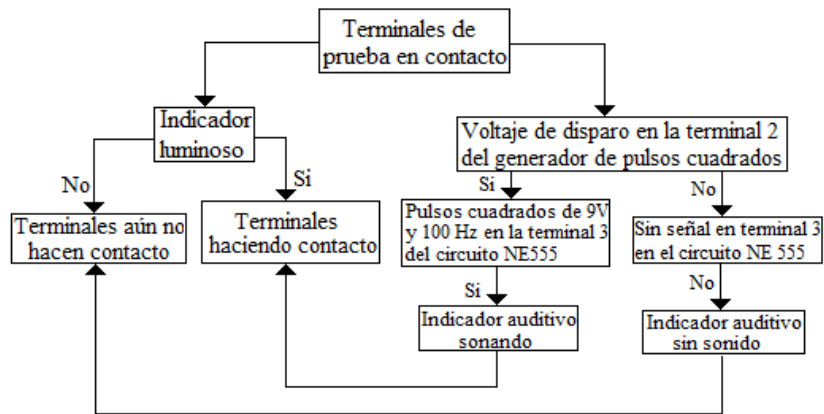


Figura 29. Diagrama de bloques del circuito final (Fuente: Propia).

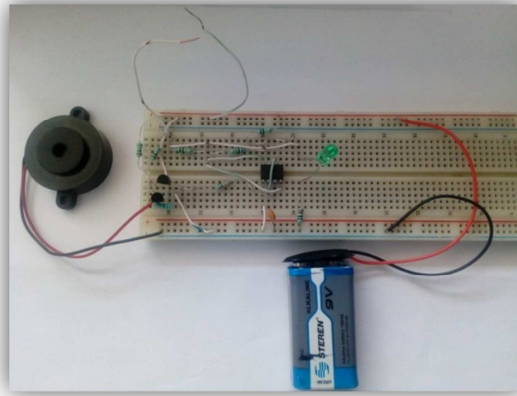


Figura 30. Circuito final armado en un protoboard (Fuente: Propia).

Después de probar el circuito final en el protoboard y verificar su funcionamiento, se continuó con el proceso de fabricación del circuito, por lo tanto, se generó el circuito impreso a partir del circuito final. En el programa Livewire, se dibujó el circuito esquemático, y se exportó al programa PCB Wizard, en donde se pudo visualizar de manera representativa los componentes del circuito.

En el Figura 31, se puede visualizar de manera representativa los componentes del circuito final, cabe mencionar que, en ese diagrama, hace falta un led, pero es solo por cuestiones de representación, ya que en circuito está conectado en forma de serie y hace su funcionamiento correspondiente.

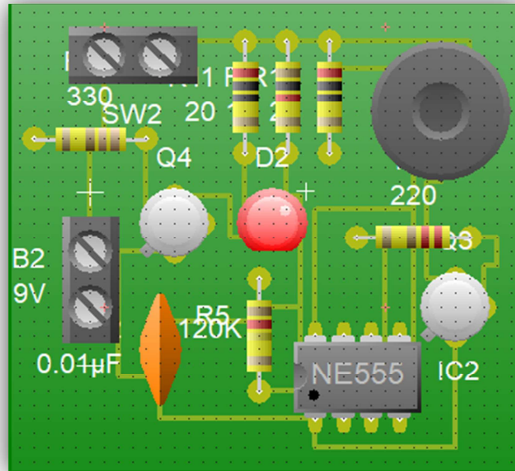


Figura 31. Circuito final representativo (Fuente: Propia).

El circuito se imprimió en una hoja couche, debido a que se utiliza este tipo de papel para su impresión en una placa fenólica (Figura 32). El circuito impreso tiene las medidas de la placa fenólica en donde se llevó a cabo el proceso de planchado. Al tener el circuito impreso, se recortó a la medida de la placa fenólica deseable, y con la ayuda de una lija se eliminó la película de óxido de cobre e impurezas. El proceso de impregnación del circuito impreso en la hoja couche a la placa, se realizó por medio de una plancha casera, este proceso tiene una duración de 2 a 4 minutos dependiendo del calor producido por la plancha.

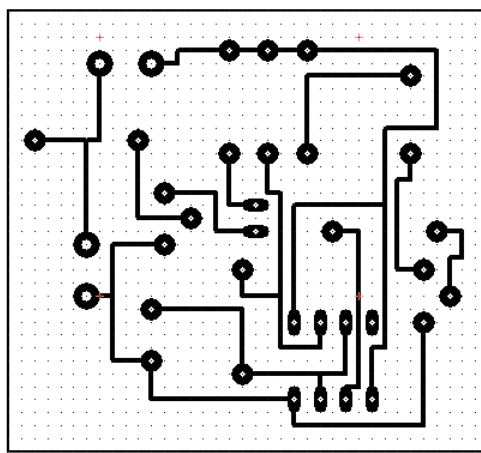


Figura 32. Forma del circuito impreso (Fuente: Propia).

Después de impregnar el circuito en la placa fenólica, se sumergió en un recipiente con agua, y se repitió el proceso de planchado, nuevamente se sumergió al recipiente con agua e inmediatamente se desprende con cuidado los excedentes del papel couche.

Al finalizar, se verificó que las líneas del circuito quedaron impresas en la placa fenólica. La placa fenólica debe ser sumergida en un recipiente con cloruro férrico (Figura 33), el cual elimina todo el cobre que no es de utilidad, es decir, solo quedan marcadas las líneas del circuito.

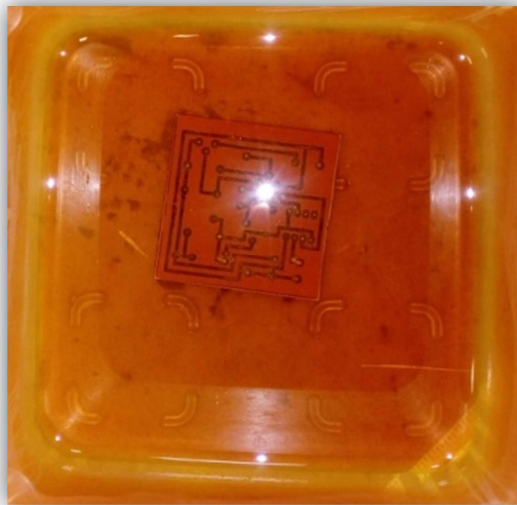


Figura 33. Placa fenólica con el circuito impreso, sumergido en cloruro férrico (Fuente: Propia).

Posteriormente, se realizó el proceso de taladrado, barrenando los lugares en donde se colocaron cada una de las terminales de los componentes electrónicos del circuito de probador de continuidad audible. Después, se soldaron los componentes a la placa fenólica (Figura 34), con la ayuda de un caudín, pasta y soldadura de estaño. Por último, se verificó el funcionamiento del circuito.

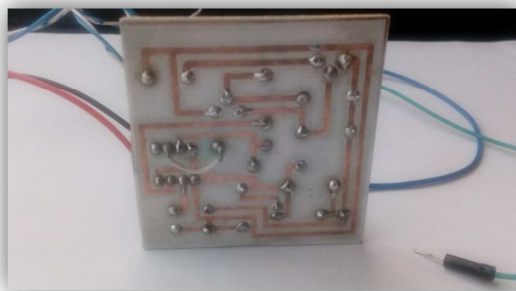


Figura 34. Parte inferior de la placa fenólica (Fuente: Propia).

3.4.3 Diseño final del calibrador electrónico

Una vez que el circuito electrónico funciona correctamente considerando cada uno de los componentes adicionales del circuito como la batería de 9 voltios, el buzzer y los dos leds, fue posible proseguir con el diseño de la carcasa del calibrador electrónico. Los puntos considerados en el diseño de la carcasa fueron a partir de la información analizada en el DFC. Por lo tanto, se fabricó un prototipo de la carcasa del calibrador electrónico, utilizando fibra de media densidad (MDF, medium density fibreboard) como material. En la Figura 35, se puede visualizar el prototipo del calibrador electrónico, siendo maquinado en un talador fresador, con un cortador plano de ¼”.



Figura 35. Maquinado del prototipo del calibrador (Fuente: Propia).

La Figura 36, muestra la parte frontal del prototipo de la carcasa fabricado en MDF.



Figura 36. Vista frontal del prototipo de la carcasa (Fuente: Propia).

Mientras que en la Figura 37, se observa la vista lateral izquierda que contiene a las ranuras realizadas para colocar los componentes del calibrador.



Figura 37. Vista lateral izquierda del prototipo de la carcasa
(Fuente: Propia).

Una vez fabricado el prototipo de la carcasa del calibrador electrónico, se prosiguió a ensamblar las partes electrónicas: el circuito impreso, el buzzer, los leds y la batería de 9 V. Contemplando que el tamaño de la carcasa del calibrador electrónico debía ser de menor volumen posible y teniendo el prototipo de la carcasa, fue posible reducir algunas dimensiones, así como, los maquinados que debía aplicar.

Con los ajustes considerados al prototipo de la carcasa, se continuó con el diseño final de la carcasa del calibrador electrónico, este diseño fue trabajado en un programa de diseño mecánico en 3D. En las Figura 38, se muestran las diferentes vistas de la carcasa del calibrador.

En el software OneCNC®, se realizó la simulación del maquinado, teniendo en consideración las especificaciones requeridas. La información previa que se debe de tener en cuenta son las siguientes:

- Material
- Dimensiones
- Cantidad y tipo de cortadores
- Parámetros de avance y corte
- Origen de la pieza

Para el maquinado de la carcasa del calibrador electrónico, se utilizó para el desbaste un cortador de ½” plano de acero de alta velocidad con recubrimiento de nitruro de titanio. La velocidad de corte fue de 1754 rpm y la velocidad de avance fue de 100 mm/s, las cuales fueron las recomendadas por el programa de maquinado, con base al material y cortador utilizado (Figura 39).

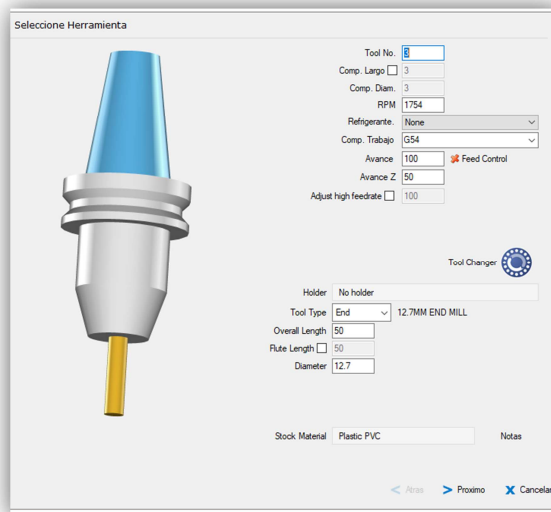


Figura 39. Selección de la herramienta para el desbaste (Fuente: Propia).

Para el acabado de la parte lateral derecha de la carcasa del calibrador electrónico, se utilizó un cortador de ¼” plano de acero de alta velocidad. De la misma forma que el maquinado anterior, se utilizó una velocidad de corte de 3508 rpm y una velocidad de avance de 150 mm/s (Figura 40).

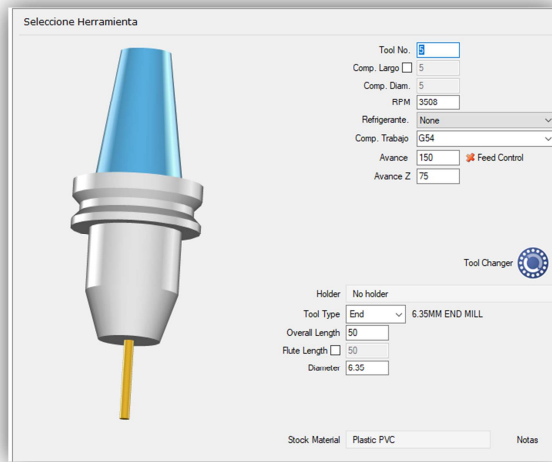


Figura 40. Selección de la herramienta para el acabado (Fuente: Propia).

En la Figura 41, se puede visualizar el área de remoción de material de la carcasa, en donde se colocaron los componentes del calibrador.

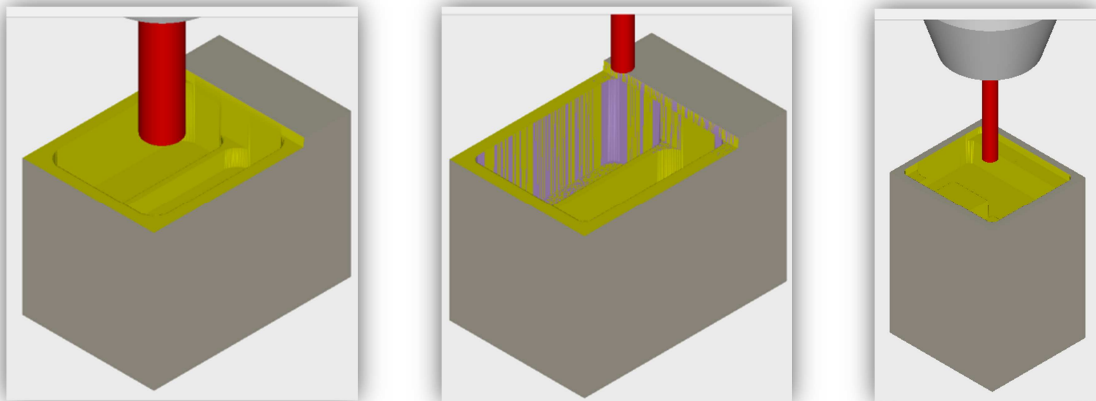


Figura 41. Proceso de maquinado de la carcasa del calibrador (Fuente: Propia).

Después de generar los códigos para el maquinado de la carcasa, se prosiguió a maquinar en el CMV. En la Figura 42, se muestra el maquinado de la carcasa, empleando nylamid como material de trabajo.



Figura 42. Maquinado de la carcasa en el CMV (Fuente: Propia).

En la Figura 43, se observa la simulación en tiempo real del maquinado de la carcasa del calibrador, las áreas azules indican que el cortador ya realizó el desprendimiento del material. La visualización del avance del maquinado en el panel de control del CMV, ayuda a saber el avance que se tiene, ya que, en ocasiones, el desprendimiento del material o la lubricación, impide observar el progreso del maquinado.

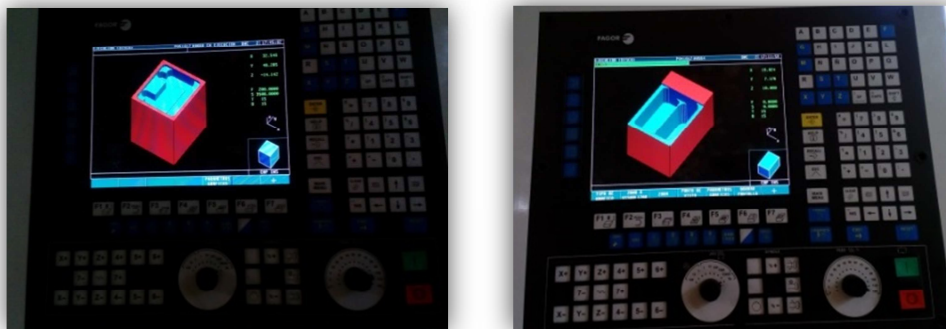


Figura 43. Visualización del maquinado en el panel del control (Fuente: Propia).

En la parte donde se ensambla el buzzer y los dos imanes que sostendrán al calibrador, no fue necesario generar un código para el maquinado de este orificio, por lo que, se utilizó el modo de ciclos del CMV empleando la operación de taladrado con un cortador plano de $\frac{1}{4}$ " de acero de alta velocidad (Figura 44).



Figura 44. Maquinado empleando el ciclo de taladrado (Fuente: Propia).

3.4.4 Explosionado del calibrador electrónico

El explosionado del calibrador electrónico (Figura 45), ayuda a visualizar la posición y localización de cada una de sus partes y componentes, así mismo, en la Tabla 12, se presentan el nombre de los componentes y la cantidad de cada uno de ellos.

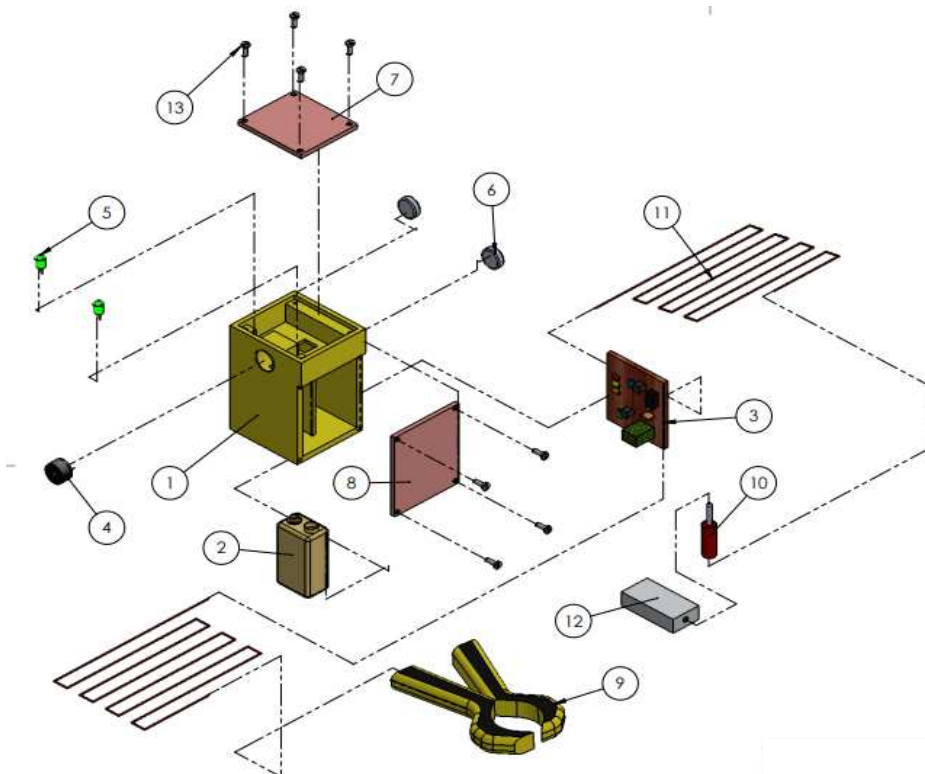


Figura 45. Vista explosionada del calibrador (Fuente: Propia).

Tabla 12. Lista de componentes del calibrador electrónico eje Z. (Fuente: Propia)

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Carcasa del calibrador	material de nylamid	1
2	Batería de 9 v		1
3	Placa	material luckybond	1
4	Buzzer		1
5	Led		2
6	Imán	imán de neodimio	2
7	Tapa-Led		1
8	Tapa-Circuito		1
9	Caimán	pinzas para sujetar	1
10	Banana macho	ensamble con la pza rectificadora	1
11	Cable	Calibre 18	2
12	pieza rectificadora	Material de aluminio	1
13	tornillos		8

Así mismo, se describe cada uno de los componentes y partes que conforman el calibrador electrónico:

1. Carcasa de calibrador electrónico: está fabricado de nylamid, sus dimensiones son de 50 mm de ancho, 55 mm de largo y 75 mm de alto (Figura 46). Esta estructura contendrá todos los componentes electrónicos del circuito. También, se le ensamblaran dos piezas de láminas de aluminio compuesto (luckybond).

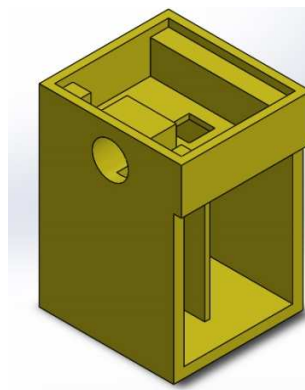


Figura 46. Carcasa del calibrador electrónico (Fuente: Propia).

2. Placa: mide 44 mm de largo y 48 mm de ancho, el circuito funciona como un probador de continuidad audible, que a partir de la unión de dos terminales hacen funcionar al led y al buzzer (Figura 47). Los componentes necesarios para la función del circuito son: un buzzer, dos leds, una batería alcalina de 9 V, 2 resistores de 20 Ω , 1 resistencia

de 1 k Ω , 1 resistor de 220 Ω , 1 resistor de 330 Ω , 1 resistor de 120 k Ω , 1 capacitor cerámicos de 0.01 μ F y dos transistores npn.

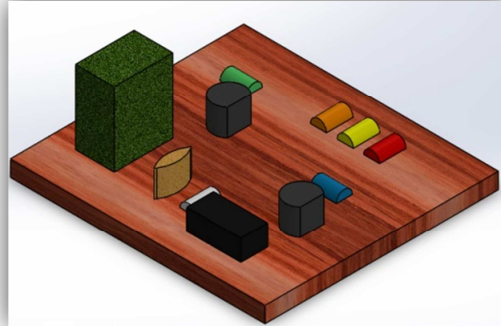


Figura 47. Placa fenólica con componentes electrónicos (Fuente: Propia).

3. Plug banana o banana macho: es la terminal del circuito (Figura 48), la función de esta pieza es el ensamble de varios tamaños de piezas de aluminio rectificadas.



Figura 48. Plug banana (Fuente: Propia).

4. Buzzer: desempeñará la función de emitir un sonido (Figura 49), cuando las dos terminales del circuito estén en contacto.



Figura 49. Buzzer (Fuente: Propia).

5. Batería de 9 V: es la fuente que proporcionará la energía suficiente para el funcionamiento del circuito (Figura 50).

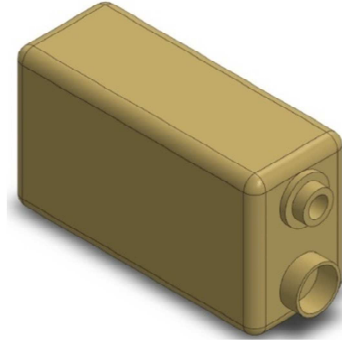


Figura 50. Batería alcalina de 9 voltios (Fuente: Propia).

6. Cables: se requiere dos cables con una longitud de 100 cm (Figura 51), soldados a la placa fenólica con el circuito ya impreso, estos cables tendrán la función de ser las terminales, pero uno de ellos estará unido a un plug banana y el otro a un caimán.

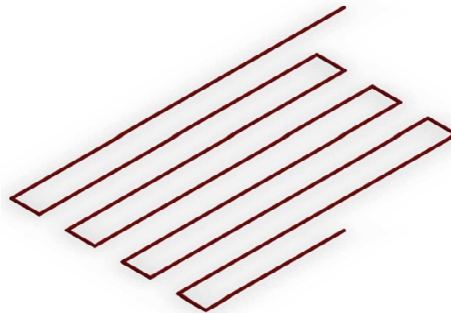


Figura 51. Cable de calibre 18 (Fuente: Propia)

7. Caimán: esta pieza tendrá la función de sujetar a los cortadores, fresas, machuelos, etc., para que pueda cerrar el circuito (Figura 52).



Figura 52. Caimán – pinzas (Fuente: Propia).

8. Imán de neodimio: tendrá la función de sujetar toda la carcasa del calibrador electrónico, conteniendo todos los componentes electrónicos y las láminas de aluminio compuesto. Sus medidas son 1.3 cm de diámetro y 0.75 cm de grosor, capaz de soportar 2.2 kg (Figura 53).



Figura 53. Imán de neodimio (Fuente: Propia).

9. Lámina de aluminio compuesto (tapa circuito): con grosor de 3 mm (luckybond), sus medidas son de 57.25 mm de largo y 50 mm de ancho, y tendrá 4 perforaciones en cada una de sus esquinas (Figura 54), las cuales servirán para unir la lámina con la carcasa del calibrador, por medio de tornillos. Esta placa estará ensamblada en la parte lateral derecha de la carcasa.

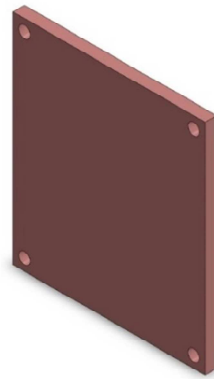


Figura 54. Lámina de aluminio lateral (Fuente: Propia).

10. Lámina de aluminio compuesto (tapa led): con grosor de 3 mm (luckybond), sus dimensiones son de 49 mm de largo y 44 de ancho, de igual manera tendrá 4 perforaciones en cada uno de sus lados (Figura 55), esta placa será ensamblada en la parte superior de la carcasa del calibrador electrónico, por medio de tornillo de 1/8".

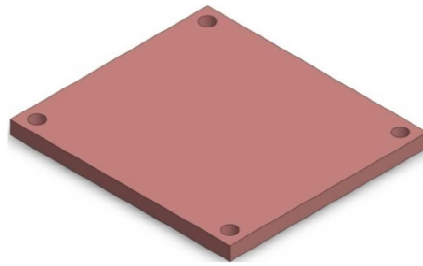


Figura 55. Lámina de aluminio superior (Fuente: Propia).

11. Placa de aluminio rectificada: sus dimensiones son 40 mm de largo, 20 mm de ancho y 10 mm de grosor (Figura 56). Esta pieza estará ensamblada al plug banana, y estará en contacto con los cortadores al momento de localizar el cero pieza con respecto al eje Z.

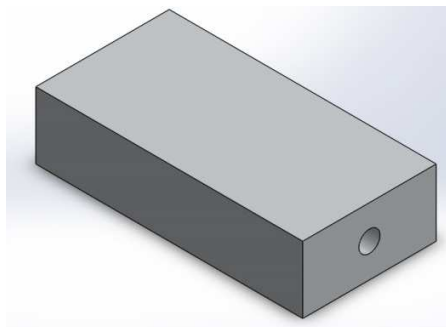


Figura 56. Placa de aluminio rectificada (Fuente: Propia).

3.4.5 Método propuesto de calibración de herramientas y localización de ceros pieza de un trabajo en el CMV.

En la Figura 57, se muestra el diagrama del proceso propuesto de calibración de herramientas y localización de ceros pieza de un trabajo en el CMV.

Independientemente del método que se lleve a cabo para la calibración de herramientas y localización de ceros pieza de un trabajo en el CMV, es necesario hacer lo siguiente:

- Las herramientas y cortadores necesarios.
- Colocar el material a maquinar en la bancada (mesa de trabajo).

- Energizar la compresora de aire y CMV desde el centro de carga.
- Abrir la válvula de aire y depurar la trampa de humedad.

- Revisar que la presión esté a:
 - 5 kg/cm² en el manómetro ubicado en la parte inferior.
 - 2 a 3 kg /cm² en el manómetro ubicado en la parte superior.
- Verificar que el nivel de aceite no esté por debajo de 0.5 litros.
- Encender el CMV en la parte posterior.
- Encender el panel de control (botón verde) en la parte anterior.
- El modo de trabajo M (manual) aparece en la pantalla.

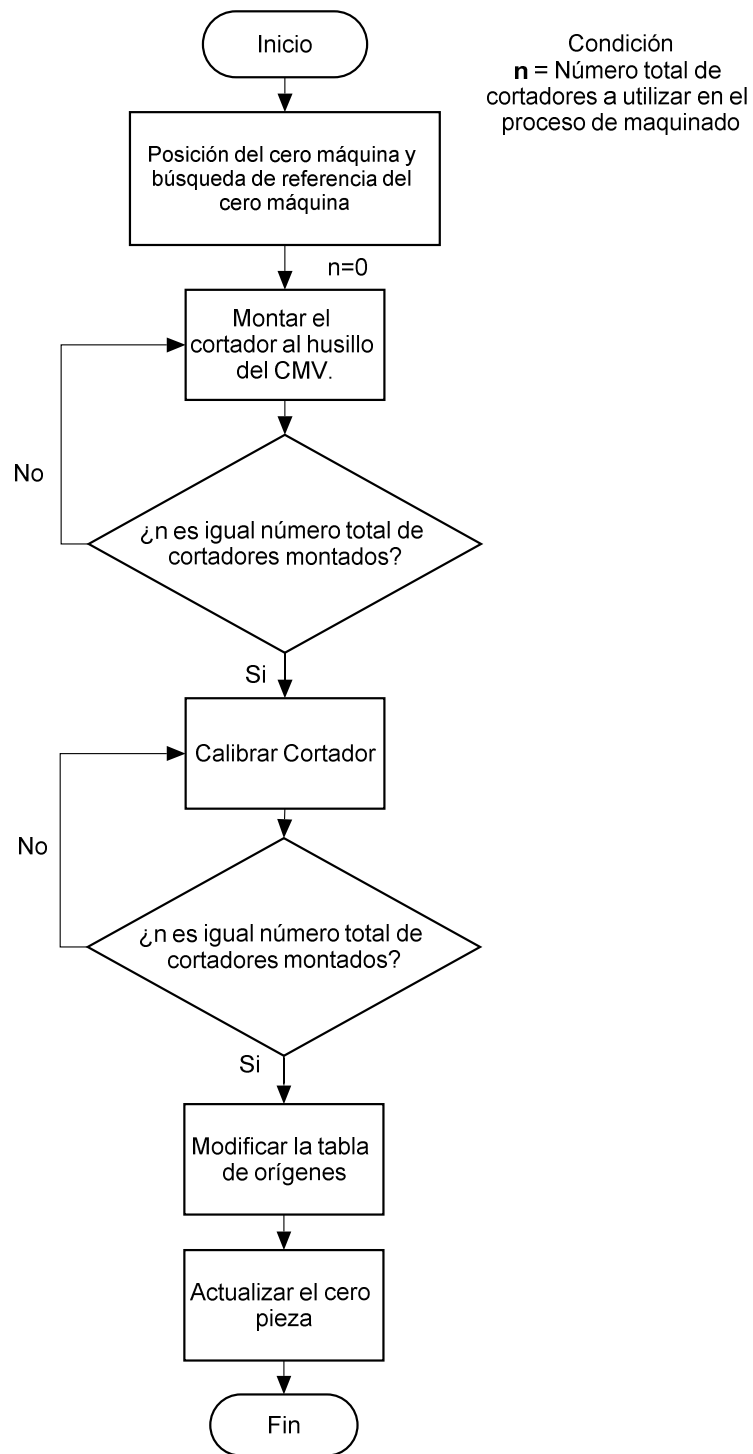


Figura 57. Diagrama del método propuesto de calibración de herramientas y localización de ceros pieza de un trabajo en un CMV (Fuente: Propia).

Posteriormente, se realizan los siguientes pasos:

- 1) Ingresar el código G53 + clic en el botón verde (marcha) en la opción MDI del panel de control, con esto se igualan el cero pieza y cero de la máquina, sin embargo, la coordenada Z tendrá un valor distinto, por lo que se realizará la búsqueda de referencia del cero máquina, pero solo con respecto al eje Z, entonces, se ingresa el código G74Z + marcha.
- 2) Antes de montar el primer cortador, se posiciona el calibrador electrónico fabricado en la parte frontal del carrusel de herramientas, en seguida, se monta el primer cortador al husillo, para ello en la opción MDI se ingresa el código T + el número de la herramienta + M06 y se da marcha. Este paso se realizará cuantas veces sea el número de cortadores a utilizar en el proceso del maquinado, con la única condición de que el número del cortador debe cambiar. Cabe señalar, que es necesario que el número de la herramienta sea progresivo, por ejemplo, si son 3 cortadores, se utilizarán las posiciones 6, 7 y 8, con esto se reducirá el tiempo de cambio cuando se requiere el cambio de cortador al momento de montarlos al husillo principal y de igual manera al momento de su calibración.
- 3) Se procede a la calibración de los cortadores, iniciando con el último cortador montado, así que se oprime F4 (manual) para activar las teclas de posicionamiento, de esta manera el usuario dirige y controla la punta del cortador al cero pieza que se ha elegido, y al estar a una distancia de 5 cm, se coloca la pieza rectificada de aluminio en donde será el cero pieza, y por otro lado, el caimán se sujeta en la parte del ensamble del cono que contiene el cortador y el cabezal del husillo. Después, con el volante, se dirige y se posiciona el cortador en la parte superior de la pieza rectificada con mayor lentitud y precisión, en cuanto el calibrador electrónico emita una luz y un sonido al mismo tiempo (Figura 58), en ese momento el usuario sabrá que es la posición indicada, en seguida, se desprende únicamente el caimán y desactiva el modo volante, posteriormente, en modo manual en el panel de control se le oprime los botones Shift + Esc + F1, para mostrar la pantalla que se muestra en la Figura 59.

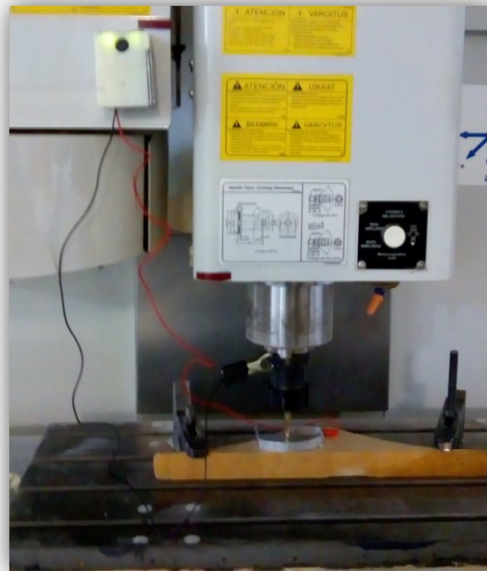


Figura 58. Posicionamiento del cortador en el cero pieza (Fuente: Propia).

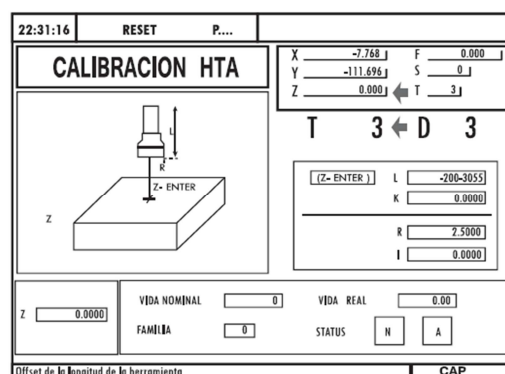


Figura 59. Pantalla de calibración de herramientas (Fagor Automation, 2014).

Se oprime los botones Z + Enter, y por último, el botón Reset. Se debe verificar que el valor que tiene el valor de Z sea cero, de esta manera queda calibrado el primer cortador.

- 4) Para calibrar el siguiente cortador, solo basta con dirigir el cursor a la casilla que le corresponde, se ingresa el siguiente número del cortador, y se da marcha. En caso de que existan más cortadores a calibrar se vuelve a realizar el paso 3.
 - a. Ahora, corresponde editar la tabla de orígenes para establecer un origen de pieza. Después de salir de la pantalla de calibración, se pulsa dos veces en el botón Zero para que se muestre la pantalla de la Figura 60.

TABLA DE ORIGENES			
	X	217.768	F 0.000
	Y	-111.696	S 0.1
	Z	0.000	T 3

	X	Y	Z
PLC	0.0000	0.0000	
ADR	0.0000	0.0000	0.0000
G54	355.2638	-725.4867	0.0000
G55	0.0000	0.0000	0.0000
G56	0.0000	0.0000	0.0000
G57	0.0000	0.0000	0.0000
ΔG58	0.0000	0.0000	0.0000
ΔG59	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 60. Tabla de orígenes (Fagor Automation, 2014).

Las coordenadas que se encuentran en la parte superior derecha, deben ser copiadas a la fila en donde aparece el código G54, después de copiar cada coordenada se pulsa el botón Enter, cabe detallar que cuando se edita el valor para el eje Z, se debe considerar el valor del grosor de la pieza de aluminio rectificada.

- 5) Por último, basta ejecutar el código G54 en la opción MDI, previamente se pulsa Shift + Esc + F4, ingresando el código y dando marcha, de esta manera el proceso de calibración de herramientas y localización de ceros pieza de un trabajo en CMV ha concluido.

Capítulo 4. Resultados y conclusiones


4.1 Presentación e instalación del método

Con el nuevo método de calibración de herramientas y localización de ceros pieza de un trabajo en el CMV, se asistió nuevamente al Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura, para llevarlo a cabo empleando el calibrador manufacturado.

Con el fin de apreciar las mejoras del método propuesto con respecto al método anterior, fue necesario ponerlo en práctica bajo las mismas condiciones, por ejemplo, el horario, el número de repeticiones de los ciclos, el mismo operario, etc.

Fue necesario realizar un nuevo estudio de tiempos. En la Tabla 13, se muestran los datos obtenidos del método propuesto.

Tabla 13. Estudio de tiempos del método propuesto y uso del calibrador nuevo (Fuente: Propia).

		ESTUDIO DE TIEMPOS										
		Área	Manufactura				Máquina		Centro de Maquinado Vertical			
		Tiempo	min:seg				Modelo		MM430	Serie	082121352	
		Proceso	Calibración de herramientas al carrusel y localización de origen de la pieza de trabajo en el CMV.									
Fecha	13/12/2017				Estudio Núm.		4					
Elementos		Ciclos										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Posición del cero Máquina (G53), búsqueda del cero Máquina, pero solo con respecto a Z (G74Z)	00:28	00:22	00:19	00:23	00:27	00:26	00:24	00:27	00:30	00:25	
2	Montar 3 cortadores al Husillo del CMV	01:47	01:25	01:46	01:14	01:40	01:35	01:29	01:31	01:45	01:41	
3	Calibrar el último cortador montado	01:34	01:16	01:13	01:10	01:21	01:28	01:20	01:28	01:35	01:33	
4	Calibrar el penúltimo cortador montado	00:42	00:44	00:35	00:46	00:39	00:39	00:42	00:37	00:36	00:38	
5	Calibrar el primer cortador montado	00:45	00:48	00:31	00:38	00:47	00:33	00:43	00:32	00:30	00:34	
6	Modificar y Editar la Tabla de orígenes (G54)	00:30	00:31	00:29	00:34	00:30	00:35	00:37	00:33	00:28	00:31	
7	Llamar el comando G54	00:18	00:15	00:13	00:13	00:15	00:16	00:18	00:14	00:13	00:18	
Tiempo total de ciclo		06:04	05:21	05:06	04:58	05:39	05:32	05:33	05:22	05:37	05:40	
Analista		Ángel Hernández Ibáñez										
Operario		Operario 1										
Observaciones		Se midió el proceso propuesto con ayuda del calibrador que se diseñó y se manufacturó										

El tiempo total de ciclo que se muestra es menor que el obtenido con el método anterior. Pero para poder corroborar esta afirmación, se analizaron los datos estadísticamente y así poder llegar a una conclusión objetiva.

4.2 Desarrollo y análisis del trabajo

Con el proceso sistemático elaborado y el dispositivo electrónico puesto en operación, se midió nuevamente la duración de los mismos elementos de calibración de herramientas y localización de puntos ceros en el área de maquinado del CMV. Con los resultados obtenidos se hizo una comparación con los obtenidos en la etapa 2 (obtención y presentación de datos).

Para concluir estadísticamente, fue necesario poner en práctica el método actual, haciendo uso del calibrador que se manufacturó. En la Tabla 14 se muestran los datos obtenidos.

De igual modo, se puso en práctica el método propuesto, utilizando el calibrador existente, en la Tabla 15, se muestran los datos obtenidos al hacer el estudio de tiempos.

Tabla 14. Hoja de estudio de tiempos: calibrador propuesto y el método existente (Fuente Propia).



		ESTUDIO DE TIEMPOS									
		Área	Manufactura				Máquina	Centro de Maquinado Vertical			
Tiempo		min:seg				Modelo	MM430	Serie	082121352		
Proceso		Calibración de herramientas al carrusel y localización de origen de la pieza de trabajo en el CMV.									
Fecha		11/12/2017				Estudio Núm.		2			
Elementos		Ciclos									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Montar 3 cortadores al Husillo del CMV	01:32	01:19	01:34	01:46	01:27	01:14	01:42	01:33	01:16	01:19
2	Búsqueda del cero Máquina (G74) y Posición del cero Máquina (G53)	00:52	00:51	00:44	00:38	00:47	00:50	00:49	00:45	00:46	00:42
3	Calibrar el último cortador montado	01:56	01:34	01:25	01:45	01:35	01:31	01:49	01:42	01:32	01:25
4	Calibrar el penúltimo cortador montado	01:28	00:42	01:03	00:55	00:51	00:56	01:12	01:01	00:45	00:50
5	Calibrar el primer cortador montado	01:01	01:07	01:03	00:58	00:57	00:53	01:04	00:56	01:02	00:48
6	Modificar y Editar la Tabla de orígenes (G54)	00:40	00:32	00:36	00:31	00:35	00:29	00:38	00:33	00:37	00:33
7	Llamar el comando G54	00:35	00:18	00:17	00:21	00:16	00:18	00:15	00:27	00:19	00:15
Tiempo total de ciclo		08:04	06:23	06:42	06:54	06:28	06:11	07:29	06:57	06:17	05:52
Analista		Ángel Hernández Ibáñez									
Operario		Operario 1									
Observaciones		Se midió el proceso actual con la ayuda del calibrador diseñado y manufacturado.									

Tabla 15. Hoja de estudio de tiempos: calibrador existente y método propuesto (Fuente: Propia).

		ESTUDIO DE TIEMPOS									
		Área	Manufactura				Máquina		Centro de Maquinado Vertical		
Tiempo		min:seg				Modelo		MM430	Serie	082121352	
Proceso		Calibración de herramientas al carrusel y localización de origen de la pieza de trabajo en el CMV.									
Fecha		12/12/2017				Estudio Núm.		3			
Elementos		Ciclos									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Posición del cero Máquina (G53), búsqueda del cero Máquina, pero solo con respecto a Z (G74Z)	00:22	00:23	00:21	00:24	00:25	00:23	00:25	00:24	00:25	00:23
2	Montar 3 cortadores al Husillo del CMV	01:17	01:28	01:35	01:35	01:12	01:38	01:23	01:37	01:26	01:35
3	Calibrar el último cortador montado	01:21	01:21	01:17	01:16	01:25	01:05	01:28	01:15	01:35	01:18
4	Calibrar el penúltimo cortador montado	01:01	01:03	01:00	00:58	01:10	00:55	00:47	00:59	01:07	01:05
5	Calibrar el primer cortador montado	00:53	00:49	00:55	00:41	00:35	00:38	00:51	00:48	00:39	00:53
6	Modificar y Editar la Tabla de orígenes (G54)	00:32	00:34	00:39	00:35	00:36	00:37	00:39	00:41	00:33	00:30
7	Llamar el comando G54	00:13	00:17	00:15	00:16	00:20	00:18	00:14	00:17	00:14	00:18
Tiempo total de ciclo		05:39	05:55	06:02	05:45	05:43	05:34	05:47	06:01	05:59	06:02
Analista		Ángel Hernández Ibáñez									
Operario		Operario 1									
Observaciones		Se midió el proceso propuesto con ayuda del calibrador existente en el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura.									

4.2.1 Validación estadística.

Para analizar los efectos del tipo de método y tipo de calibrador sobre el tiempo de preparación de la pieza, se realizó un diseño factorial general con dos factores y diez réplicas. Como primer factor se consideró el tipo de método cuyos niveles son método actual y método propuesto. El segundo factor fue el tipo de calibrador y sus niveles calibrador actual y calibrador propuesto. Como puede observarse se codificaron los niveles de cada factor con los valores 1 y 2 para actual y propuesto, respectivamente. Los factores y niveles se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16. Factores y niveles del diseño factorial general (Fuente: Propia).

Factores	Niveles	
Método	Actual	1
	Propuesto	2
Calibrador	Actual	1
	Propuesto	2

En la Tabla 17, se presentan los tiempos de preparación de cada tratamiento del diseño factorial general con diez réplicas.

Tabla 17. Tiempos de preparación del diseño factorial general (Fuente: Propia).

Método	Calibrador	Tiempo de preparación (segundos)									
		1	1	407	392	395	399	413	424	405	399
1	2	484	383	402	414	388	371	449	417	377	352
2	1	339	355	362	345	343	334	347	361	359	362
2	2	364	321	306	298	339	332	333	322	327	340

Según Montgomery (2004), se ha adoptado en la práctica el enfoque del valor P. Por lo tanto, se utilizará para el análisis de varianza del diseño factorial general. En la Tabla 18, se muestra el análisis de varianza del diseño factorial general obtenido del software Minitab®, puede observarse que el efecto principal tipo de método presenta un valor P menor que el nivel de significancia $\alpha=0.05$, lo que indica que influye en el tiempo de preparación de la pieza con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 18. Análisis de varianza del diseño factorial general (Fuente: Propia).

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F ₀	Valor P
Método	1	39627	39627	75.09	0.000
Calibrador	1	990	990	1.88	0.179
Método*Calibrador	1	1334	1334	2.53	0.121
Error	36	18999	528		
Total	39	60950			

En la Figura 61, se presentan las gráficas de efectos principales del tipo de método y calibrador. Para el nivel 1 del método que corresponde al actual se tiene un tiempo promedio de preparación de la pieza de 402.9 segundos y para el nivel 2 de 339.95 segundos. Con respecto al calibrador, en el nivel 1 se tiene un tiempo promedio de 376.4 segundos y para el nivel 2, el tiempo promedio es de 366.45 segundos.

Por lo anterior, se recomienda utilizar el método y calibrador propuestos para obtener un tiempo menor de preparación de la pieza de trabajo.

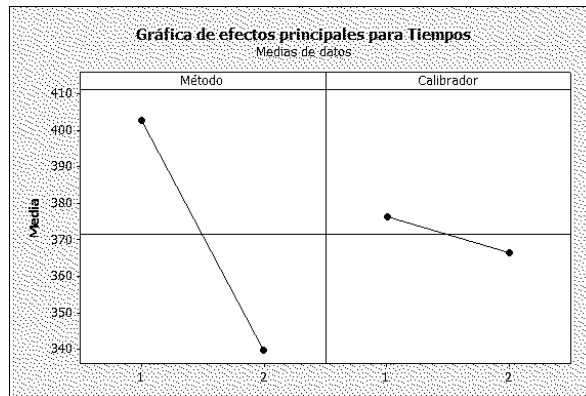


Figura 61. Gráfica de los efectos principales de los tipos de método y calibrador (Fuente: Propia).

4.3 Establecimiento de estándares de tiempo

Con el estudio cronometrado de tiempos, muestreo de trabajo y datos ya establecidos, se buscó estandarizar los tiempos y movimientos de los usuarios que utilicen un CMV para maquinar piezas, esto con relación en la cantidad de herramientas (cortadores, fresas, brocas, etc.) a emplear en el proceso de maquinado y a la localización de puntos ceros en la pieza a maquinar.

Después del análisis estadístico de los tiempos cronometrados de cada una de las combinaciones de los factores, y obteniendo los resultados finales respecto al uso del método propuesto con el calibrador manufacturado, así mismo, con respecto al método actual con el calibrador existente, se determinó el estándar de tiempo del nuevo método.

Se hizo la sumatoria del tiempo promedio de cada elemento (Tabla 19) denominado para este estudio como tiempo elegido y denotado como T_e .

Tabla 19. Resumen de los tiempos totales de ciclo obtenidos del método y calibrador propuestos (Fuente: Propia).

Tiempo: minseg	Ciclos										Tiempo total (s)	Tiempo promedio (s)
	Elementos	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Posición del cero Máquina (G53), búsqueda del cero Máquina, pero solo con respecto a Z (G74Z)	00:28	00:22	00:19	00:23	00:27	00:26	00:24	00:27	00:30	00:25	251	25.1
Montar 3 cortadores al Husillo del CMV	01:47	01:25	01:46	01:14	01:40	01:35	01:29	01:31	01:45	01:41	953	95.3
Calibrar el último cortador montado	01:34	01:16	01:13	01:10	01:21	01:28	01:20	01:28	01:35	01:33	838	83.8
Calibrar el penúltimo cortador montado	00:42	00:44	00:35	00:46	00:39	00:39	00:42	00:37	00:36	00:38	398	39.8
Calibrar el primer cortador montado	00:45	00:48	00:31	00:38	00:47	00:33	00:43	00:32	00:30	00:34	381	38.1
Modificar y Editar la Tabla de orígenes (G54)	00:30	00:31	00:29	00:34	00:30	00:35	00:37	00:33	00:28	00:31	318	31.8
Llamar el comando G54	00:18	00:15	00:13	00:13	00:15	00:16	00:18	00:14	00:13	00:18	153	15.3

$$Te = 25.1 + 95.3 + 83.8 + 39.8 + 38.1 + 31.8 + 15.3 = 329.2 \text{ s}$$

Después, se procedió a la calificación del ritmo de trabajo (Tabla 20), de acuerdo con recomendado por Westinghouse, a saber:

Tabla 20. Ritmo de trabajo del estudio (Fuente: Propia).

Habilidades	C2	0.03
Esfuerzo	D	0
Condiciones	C	0.02
Consistencia	E	-0.02
Sumatoria		0.03

Se agregó al Te , para obtener el tiempo normal:

$$Tn = Te * (\text{valoración en } \%)$$

$$Tn = 329.2 * 1.03 = 339.076 \text{ s}$$

Y los suplementos, se definieron como sigue: personal 5% y fatiga básica 4%.

Por lo anterior, el valor obtenido es el porcentaje que se agregó al tiempo normal. Por lo tanto, el tiempo estándar, quedó de la siguiente manera:

$$Tt = Tn(1 + \text{tolerancias})$$

$$Tt = 339.076 * (1 + .09) = 369.592 \text{ s}$$

Convirtiendo los segundos en minutos se tiene que el tiempo estándar por ciclo de calibración y alistamiento es de 6 minutos 9 segundos.

4.4 Seguimiento.

El seguimiento es necesario para asegurar que se aplica el método propuesto y que se están logrando los estándares establecidos. El seguimiento continuo es la única manera de asegurar que el nuevo método se mantenga durante el tiempo suficiente para que todas las personas asociadas con sus detalles se familiaricen por completo con sus rutinas (Niebel & Freivalds, 2009).

4.5 Conclusiones

Una vez realizado el presente trabajo de tesis, se tienen las siguientes conclusiones:

- Se determinó el método actual de calibración de herramientas y localización del origen por medio del análisis de la operación, en donde se identificó las actividades que comúnmente eran realizadas.
- Se diseñó y fabricó un dispositivo electrónico para la localización de orillas y, principalmente, el eje Z, el cual emite sonido y una luz de alerta que indica la posición del punto cero sobre la pieza de trabajo.
- Se desarrolló un método alternativo para la calibración de herramientas en un centro de maquinado vertical, logrando disminuir el tiempo de preparación. La Tabla 21, presenta una comparación entre los métodos y dispositivos de calibración, el porcentaje anotado es la variación del tiempo de preparación con respecto al método y calibrador existente.

Tabla 21. Comparación entre métodos y calibradores (Fuente: Propia).

Comparación	Método actual y calibrador propuesto	Método propuesto y calibrador actual	Método y calibrador propuestos
Método y calibrador existentes	+0.24%	-12.95%	-18.16%

- Se validó el método alternativo mediante un análisis estadístico, el cual sustenta que el método propuesto con ayuda del calibrador fabricado reduce el tiempo de preparación de la pieza de trabajo.

Por lo anterior, se afirma que se cumplió el objetivo general al desarrollar un método de calibración de herramientas de corte y localización del origen en la pieza de trabajo en un centro de maquinado vertical, que permite reducir el tiempo de preparación, mediante técnicas del estudio de trabajo.

4.6 Trabajos a futuro

Los trabajos a futuro que se encuentran en desarrollo son los siguientes:

- Diseño y fabricación de un calibrador de origen Z utilizando sensores.
- Incremento de la precisión en los localizadores electrónicos.
- Mejora del método para la preparación de piezas de trabajo contemplando la simulación de los códigos de control numérico.

Glosario

Careado: proceso que produce una superficie plana al final de la parte, perpendicular a su eje, útil para partes que se ensamblan con otros componentes.

Control numérico: método que controla los movimientos de los componentes de una máquina, insertando instrucciones codificadas en forma de números y letras directamente en el sistema.

Dispositivo: pieza o conjunto de piezas preparados para realizar una función determinada.

Fresado: proceso de maquinado que utiliza una herramienta multifilo que produce numerosas virutas en una sola revolución.

Herramental: dispositivos y herramientas utilizados para preparar o realizar una operación de procesamiento.

Honeado: proceso más rápido que el rectificado y se utiliza para mejorar el acabado superficial.

Husillo: elemento que produce el desplazamiento lineal del eje Z y en cual se montan los conos de las herramientas de corte.

Machuelado: proceso que produce roscas internas en las piezas de trabajo.

Mandrinado: proceso que agranda un orificio o cavidad cilíndrica fabricada mediante un proceso previo o produce ranuras circulares internas.

Micro audible: sonido de baja intensidad que es emitido por algún dispositivo cuando cumple su función.

Origen de la máquina: es el origen del sistema de coordenadas de la máquina establecido por el fabricante.

Origen de la pieza: es el punto de origen establecido de manera arbitraria por el diseñador de la geometría que se desea maquinar.

Portaherramientas: son sujetadores de boquillas que sostienen las herramientas de corte.

Punto de referencia: son las coordenadas en las cuales se realiza el reglaje de las herramientas de corte.

Reglaje: reajuste que se hace de las piezas de un mecanismo para mantenerlo en buen funcionamiento

Rimado: operación para hacer que un orificio ya existente sea más preciso dimensionalmente que el obtenido solo con taladrado y mejorar su acabado superficial.

Roscado: proceso que produce roscas externas o internas.

Taladrado: proceso que produce un orificio, que después puede mandrinarse para mejorar su precisión dimensional y acabado superficial.

Torneado: proceso que produce piezas de trabajo rectas, cónicas, curvadas o ranuradas.

Referencias

- Amstead, B. H. (1981). *Procesos de manufactura: versión SI*. México: Continental
- Arriaga Gordillo, J. & Merino Godínez, E. (2009). *Aplicación del control numérico computarizado a las máquinas fresadoras* (Doctoral dissertation). Recuperado de <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3175/29.pdf?sequence=1>
- Bawa, H. S. (2007). *Procesos de manufactura*. México: Mc Graw Hill.
- Chan, L. K. & Wu, M. L. (2002). Quality Funtion Deployment a comprehensive review of its concepts and methods. *Quality engineering*, 15, 23-35.
- Fagor automation (2014). *Manual de operación*. Recuperado de: http://www.fagorautomation.com/downloads/manuales/es/man_8055mc_opt.pdf
- Fagor automation (2014). *Manual de programación*. Recuperado de: http://www.fagorautomation.com/downloads/manuales/es/man_8055t_prg.pdf
- G. Ortiz Bernardo (2004). *Optimización de las variables envueltas en el maquinado en un centro de maquinado de control numérico computarizado*. (Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León) Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/1450/1/1020149821.PDF>
- García Criollo, R. (2005). *Estudio del trabajo: Ingeniería de métodos y medición del trabajo*. México: Mc Graw Hill.
- Groover, M. P. (2001). *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall.
- Gutiérrez Pulido, H. & De la Vara Salazar, R. (2004). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. México: Mc Graw Hill.
- Jay, A. (2003). *Six sigma simplificado*. México: Panorama Editorial
- Kalpakjian, S. y Schmid, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson Prentice Hall.
- Kanawaty, G. (1996). *Introducción al Estudio de Trabajo*. México: Limusa.
- Krar, S. F. y Check A. F. (2002). *Tecnologías de las Máquinas herramienta*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Limusa.

Niebel B. W. & Freivalds A. (2009). *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño de trabajo*. México: Mc Graw Hill.

Sánchez, A. (2010). Tec-Magazine. *Principios de control numérico computarizado (CNC)* Vol. 1 No. 1, pp. 36-51 Recuperado de: <http://itstepeaca.edu.mx/e-magazine/vol1,%20num%201/CNC1.pdf>

Traverstool (2017). *Catálogo 2017*. Recuperado de: www.travers.com.mx

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L. & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Pearson Educación.