

REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA CNC RECTIFICADORA DE JUNTAS HOMOCINÉTICAS

Ángel Pola Meléndez

Instituto Tecnológico de Celaya
angel.pola@itmatamoros.edu.mx

Álvaro Sánchez Rodríguez

Instituto Tecnológico de Celaya
alvaro.sanchez@itcelaya.edu.mx

Cesar Rodríguez Alcalá

Instituto Tecnológico de Celaya
ing.cesarrodriguezcalca@gmail.com

Aurelio Rodríguez Fortozo

Instituto Tecnológico de Celaya
Aurelio_7134@hotmail.com

Resumen

En este trabajo se presenta un rediseño de un equipo CNC para la rectificación de los tres componentes principales de la terminal externa (Campana, Estrella y Jaula) de juntas homocinéticas de velocidad constante. El diseño resultante se obtuvo basado en los requerimientos específicos establecidos mediante la metodología de Pahl y Beitz, El concepto abarca desde lo mecánico, eléctrico, electrónico hasta el desarrollo de una aplicación en C# para el control del equipo y como interfaz de usuario de fácil uso y rápido entrenamiento. El diseño o solución final se probó y validó mediante 60 corridas piloto donde se combinaron diferentes valores en los parámetros de velocidades de los 4 ejes y potencia de corte, documentando la metrología dimensional y calidad de cada pieza procesada

mediante herramientas de medición especiales y una máquina de medición coordinada (CMM).

Palabras clave: Metodología Pahl y Beitz, CNC, CMM, electrónica, C#, rectificación, productividad, metrología dimensional, junta homocinética.

Abstract

In this paper a redesign of a CNC equipment for the rectification of the three main components of the external terminal (Outer Housing, Outer Race and Cage) of constant velocity universal joints is presented. The resulting design was obtained based on the specific requirements established by the methodology of Pahl and Beitz, the concept extends from mechanical, electrical, electronic to developing an application in C # to control the computer and as the user interface easy to use and quick workout. The design or final solution was tested and validated by 60 pilot runs where different values were combined in the parameters of speed of the 4 axes and cutting power, documenting dimensional metrology and quality of each piece processed by tools special measuring and machine coordinate measuring (CMM).

Keywords: Methodology Pahl and Beitz, CNC, CMM, electronics, C #, rectification, productivity, dimensional metrology, constant velocity joint.

1. Introducción

Se han desarrollado diversos sistemas, equipos o maquinaria para la rectificación de los componentes de las juntas homocinéticas de velocidad constante. La intención de estos equipos es de darle un acabado preciso y pulido a las pistas por las que se deslizan los balines de los componentes de la articulación que se conecta con las ruedas del vehículo. Ya que los balines tocan las pistas de forma bi-puntual y tangencial deben de deslizarse de manera suave sobre caras tipo espejo. Existen juntas desde 4 hasta 8 pistas y una gran diversidad de tamaños diferentes siendo las de tipo Rzeppa las más populares

Descripción del Problema

Se pretende reconstruir un equipo antiguo y fuera de servicio; ya que en la actualidad estos equipos son muy costosos pues contienen diversos sistemas integrados, figura 1.

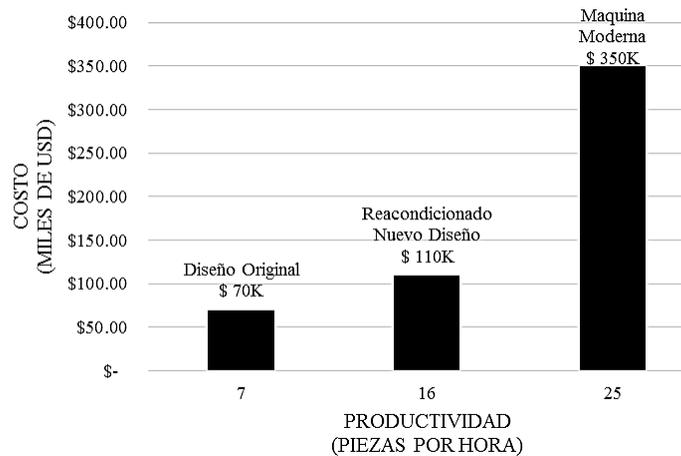


Figura 1 Costo vs Productividad.

¿Qué son las juntas homocinéticas?

Es una unión articulada desde la transmisión a la rueda, una especie de rótula compleja, que permite amortiguar estos movimientos sin que por ello las ruedas pierdan tracción o potencia, ni sufran las transmisiones de los automóviles de modo que la velocidad entre ellos sea igual en todo momento [1], figura 2.



Figura 2 Junta Homocinética.

¿Qué es un equipo de rectificación CNC para juntas homocinéticas?

Las máquinas CNC (Control Numérico Computarizado) son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los tres ejes para ejecutar trayectorias tridimensionales como las que se requieren para el maquinado de complejos

moldes y troqueles. En una máquina CNC una computadora controla todos los movimientos [2], figura 3.



Figura 3 Equipo de rectificación (CVS Universal) a reconstruir.

Los componentes que son rectificadas por el equipo se muestran en figura 4, así mismo las áreas a rectificar son las pistas de los balines marcadas de amarillo.



Figura 4 a) Estrella “Race”, b) Jaula “Cage” y c) Campana “Housing”.

2. Métodos

El modelo conceptual propuesto fue obtenido mediante la metodología propuesta por Pahl y Beitz [3], figuras 5 y 6. Este a su vez basado en las siguientes necesidades específicas de Calidad, Productividad y claramente una reducción de inversión económicamente viable:

- Que el nuevo diseño aumente la capacidad tecnológica respecto de la original.
- Que aumente la capacidad productiva a un 60%, +/-10 %

- Tener un nivel de confianza en las mediciones de las dimensiones en el producto terminado > 90%.

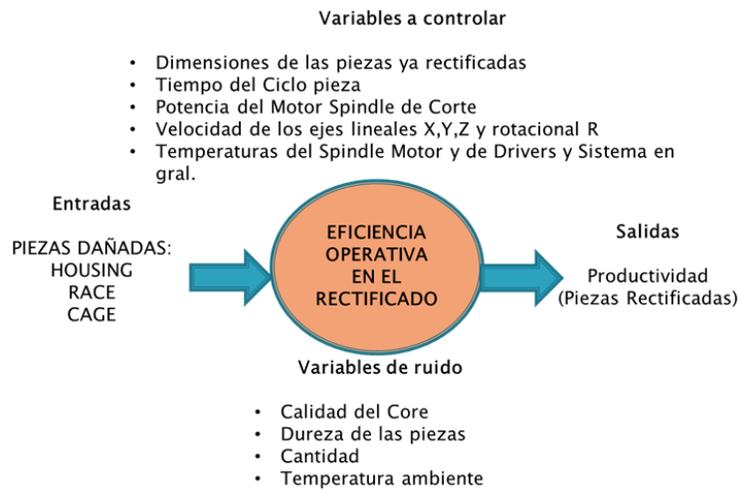


Figura 5 Diagrama Conceptual del proceso de rectificación.

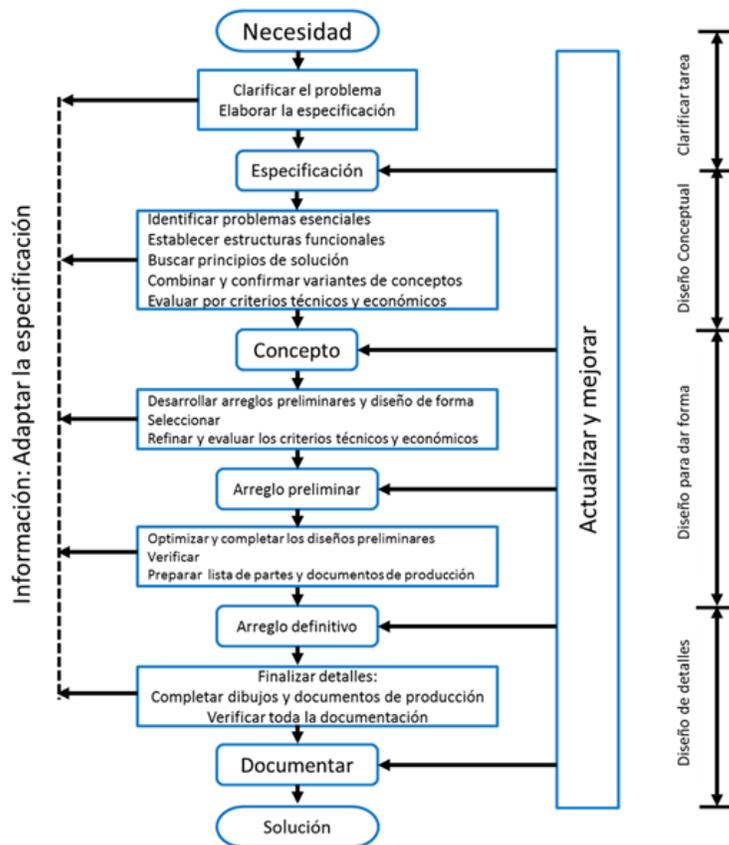


Figura 6 Diagrama Conceptual de Pahl y Beitz.

Para lograr una metodología de diseño, se generaron diagramas de flujo desde la perspectiva de la eficiencia productiva/operativa (figura 7) y el diagrama de flujo del desempeño de los ejes (figura 8).

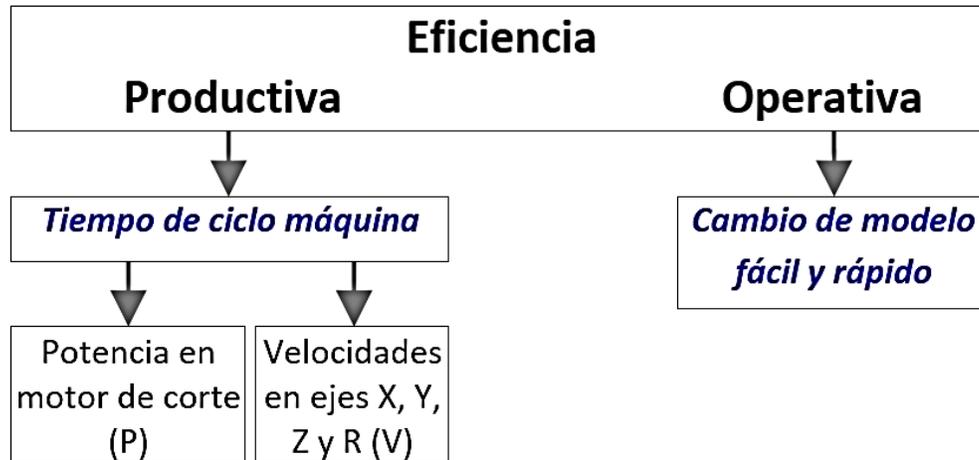


Figura 7 Diagrama flujo eficiencia.

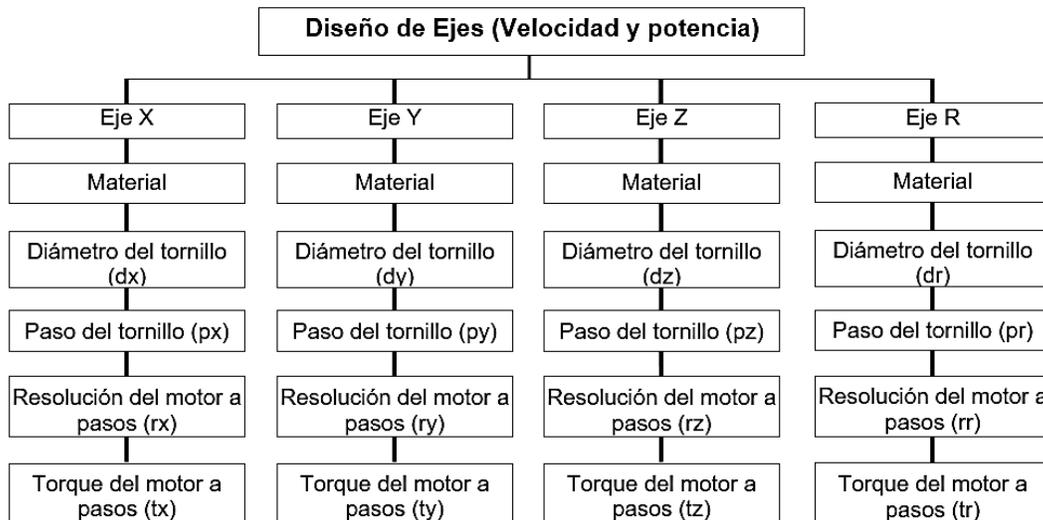


Figura 8 Diagrama Flujo – Diseño de ejes.

Después de obtenidos los diagramas de flujos anteriores, se procedió bosquejar y diseñar el nuevo diseño basado en la metodología y los requerimientos se obtuvo el modelo de diseño conceptual del sistema en general, figura 9.

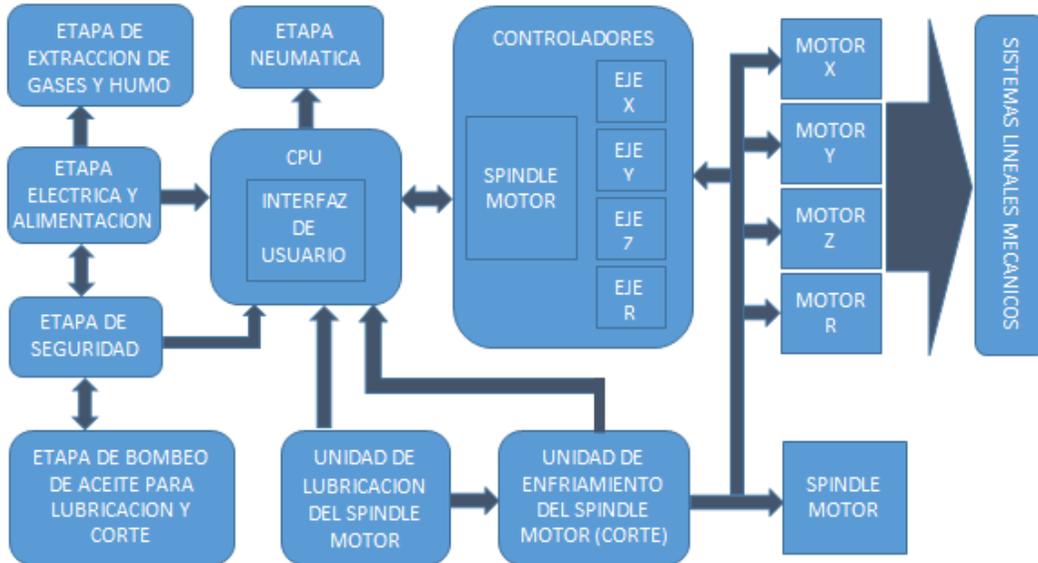


Figura 9 Modelo de diseño conceptual.

3. Modelos Numéricos/Experimentales

En tabla 1 se muestran las especificaciones de velocidad, potencia y torque del spindle motor utilizado. La potencia de corte se determinó mediante la ecuación 1.

Tabla 1 Comparativa sistema original vs nuevo.

Motor de corte	RPM max.	Potencia (kW)	Torque (N.m)
Original	24000	18	7.16
Nuevo	35000	35	9.55

$$Potencia (kW) = \frac{Torque (N.m) Velocidad angular (rpm)}{9.5488} \quad (1)$$

El material elegido para los ejes es acero inoxidable, con una resolución de 6 cuerdas por pulgada para los eje X, Y, y Z; para el eje R es de 20° por vuelta. La resolución del motor a pasos es de 1.8° por paso, lo que es equivalente a 200 pasos por revolución. Las velocidades de los ejes determinadas para el X, Y, Z es de 3 segundos por pulgada; para el eje R es de 9 segundos por revolución. En la tabla 2 se muestran los valores de los ejes.

Tabla 2 Características de los ejes con los nuevos motores.

Eje	Paso	Resolución (pasos)	Torque (N.m)	Resolución final/paso	Velocidad final
X, Y, Z	6 vueltas/pulg	200	2.5	0.000833	3 pulg/s
Para el eje R, tenemos una mesa rotatoria					
R	20°/vuelta husillo	1.8°/paso	1.47	0.1°	9 rev/s

El tiempo de ciclo por pieza (T_p) se determina mediante la suma los tiempos de ciclo de máquina (T_m), de ajuste (T_s), de carga (T_c) y de descarga (T_d), ecuación 2 y en tabla 3 se muestran sus rangos.

$$T_p = T_m + T_s + T_c + T_d \quad (2)$$

Tabla 3 Tiempos de ciclo.

Tiempo de ciclo maquina T_m	60–120 s
Tiempo de ajuste (setup) T_s	2 – 8 s
Tiempo de carga T_c	30 – 60 s
Tiempo de descarga T_d	2 – 5 s

Así el tiempo de ciclo por pieza se calcula en un tiempo máximo y mínimo según los valores especificados anteriormente:

$$T_p \text{ Maximo} = 120 \text{ s} + 8 \text{ s} + 60 \text{ s} + 5 \text{ s} = 193 \text{ s}$$

$$T_p \text{ Minimo} = 60 \text{ s} + 2 \text{ s} + 30 \text{ s} + 2 \text{ s} = 94 \text{ s}$$

Para medir la productividad se mide en cantidad de piezas por hora que el equipo puede producir, por lo que se calcula dividiendo la cantidad de segundos en una hora (3600 s) entre el tiempo de ciclo por pieza:

$$\text{Productividad Maxima} = \frac{3600 \text{ s}}{T_p \text{ Minimo}} = \frac{3600 \text{ s}}{94 \text{ s}} = 38 \text{ piezas por hora}$$

$$\text{Productividad Minima} = \frac{3600 \text{ s}}{T_p \text{ Maximo}} = \frac{3600 \text{ s}}{193 \text{ s}} = 18 \text{ piezas por hora}$$

Software-Aplicación

La aplicación se desarrolló en C#, con un algoritmo basado en rutinas de ejecución en paralelo, brinda una interfaz de usuario muy sencilla acompañada de

una base de datos de aprendizaje progresivo, disminuyendo el tiempo de cambio de modelo y ajuste. El algoritmo de cálculo de inserción de la herramienta de corte es capaz de compensar los errores humanos cometidos en el ajuste mecánico por el operador, véase la figura 10.

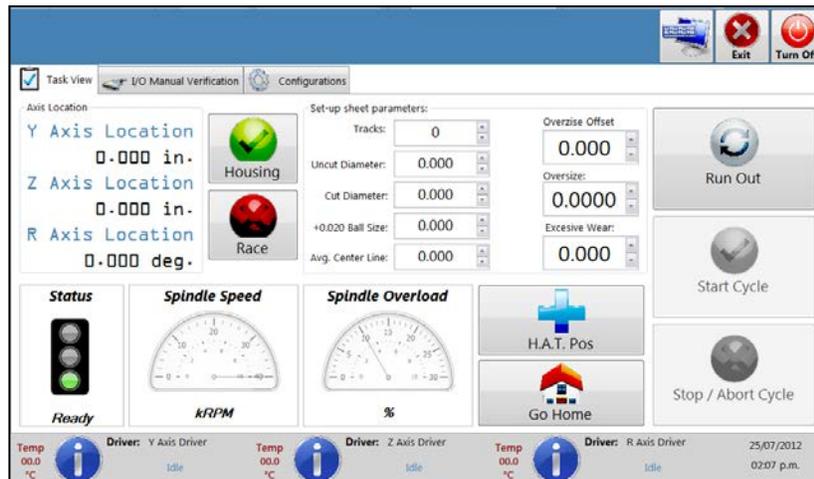


Figura 10 Pantalla Principal–Interfaz de Usuario.

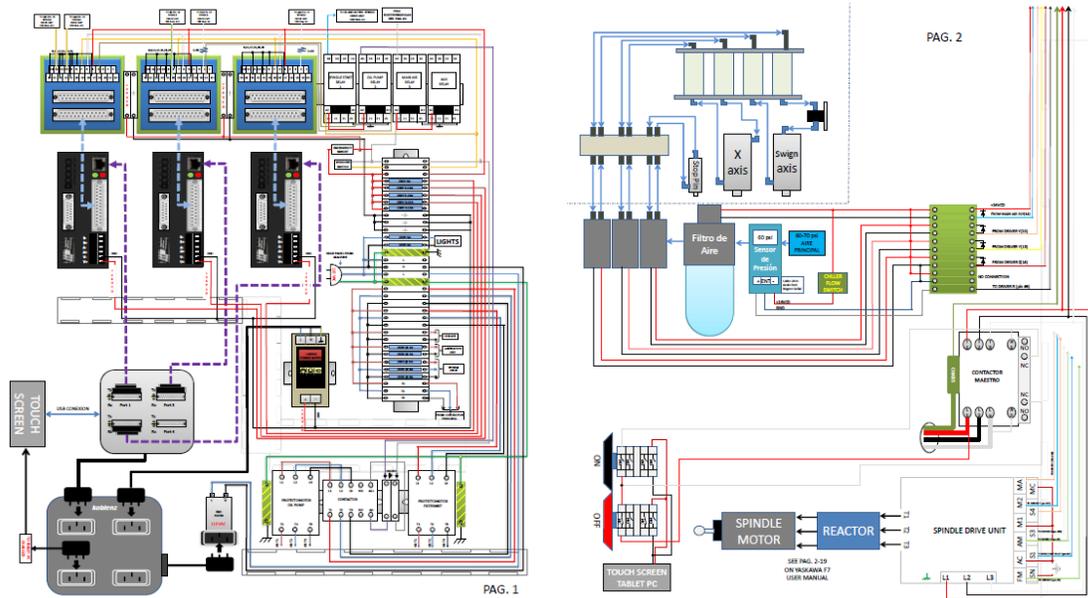
Sistema Eléctrico-Electrónico

En el sistema eléctrico-electrónico hubo una reducción de tamaño incrementando el espacio cubico libre en más de un 40%; una reducción de peso total de 25 kg en los gabinetes superior e inferior, a esto, la ventilación y circulación del aire para el enfriamiento de los gabinetes mejoró y se logró un ahorro de energía de 100 W/hora de potencia en comparación al original, véase las figuras 11 y 12.

Sistema Lineal Electro-mecánico

Con el incremento de tamaño en el motor de corte y su sujetador (figura 13) de 10% espacio cubico, no afectó los límites o rangos de movimientos de los ejes X, Y, Z. Para el eje R se utilizó una nueva tabla rotativa 30% más veloz, sin sacrificar espacio ya que se diseñó una montura que permitió adaptarla en la misma posición que la original (figura 14). Cabe mencionar que los nuevos motores a pasos con un torque de 10N-m brindaron la eficiente capacidad esperada. El plato giratorio hidráulico donde se

instaló la base de montaje del eje R (figura 15), se mejoró instalando dos nuevos cilindros de mayor velocidad y fuerza para soportar el movimiento tangencial de la herramienta de corte (véase la figura 16).



a) Panel eléctrico superior.

b) Electro-neumático para eje X y mesa de giro S.

Figura 11 Diagramas de conexión.



Figura 12 Paneles eléctricos-electrónicos.



Figura 13 Sujetador del motor de corte.



Figura 14 Plato base de sujetador tipo mordaza.

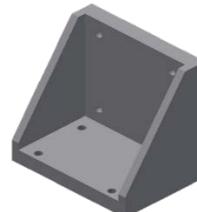


Figura 15 Base de montaje mesa giratoria (eje R).

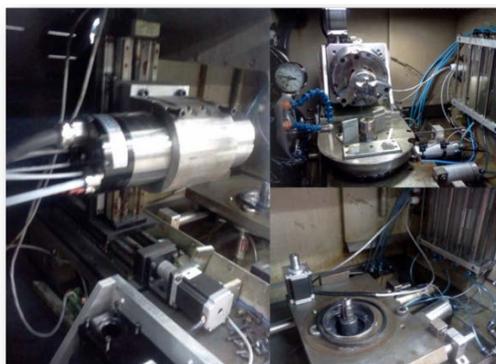


Figura 16 Sistema lineal de ejes Y, Z, mesa de giro y tabla rotativa.

4. Resultados

Los resultados experimentales que se muestran en las tablas 4 y 5 fueron obtenidos en corridas con diferentes combinaciones de los parámetros principales del nuevo diseño, figuras 17 y 18, respectivamente.

Tabla 4 Corridas de prueba 1 a la 7.

# DE CORRIDA	% POTENCIA DEL SPINDLE	VELOCIDAD EJE X	VELOCIDAD EJE Y	VELOCIDAD EJE W (Swing table)	VELOCIDAD EJE R	TIEMPO CICLO MAQUINA (TCM) [seg]	CALIDAD DE CORTE	CAUDAL DE CORTE
1	50	50	50	50	50	266	60	NO ACEPTABLE
2	55	50	50	50	50	266	60	NO ACEPTABLE
3	60	50	50	50	50	266	70	ACEPTABLE
4	65	50	50	50	50	266	70	ACEPTABLE
5	70	50	50	50	50	266	80	BUENO
6	75	50	50	50	50	266	90	MUY BUENO
7	80	50	50	50	50	266	100	EXCELENTE

Tabla 5 Corridas de prueba de la 43 a la 60.

# DE CORRIDA	% POTENCIA DEL SPINDLE	VELOCIDAD EJE X	VELOCIDAD EJE Y	VELOCIDAD EJE W (Swing table)	VELOCIDAD EJE R	TIEMPO CICLO MAQUINA (TCM) [seg]	CALIDAD DE CORTE	CAUDAL DE CORTE
43	70	80	80	70	90	223	100	EXCELENTE
44	70	85	85	70	90	218	100	EXCELENTE
45	70	90	90	70	90	213	100	EXCELENTE
46	70	80	80	80	90	215	80	BUENO
47	70	85	85	80	90	210	80	BUENO
48	70	90	90	80	90	205	80	BUENO
49	70	80	80	90	90	205	80	NO ACEPTABLE
50	70	85	85	90	90	190	80	NO ACEPTABLE
51	70	90	90	90	90	185	80	NO ACEPTABLE
52	80	80	80	70	90	223	100	EXCELENTE
53	80	85	85	70	90	218	100	EXCELENTE
54	80	90	90	70	90	213	100	EXCELENTE
55	80	80	80	80	90	215	90	MUY BUENO
56	80	85	85	80	90	210	90	MUY BUENO
57	80	90	90	80	90	205	80	BUENO
58	80	80	80	90	90	205	80	NO ACEPTABLE
59	80	85	85	90	90	190	80	NO ACEPTABLE
60	80	90	90	90	90	185	80	NO ACEPTABLE

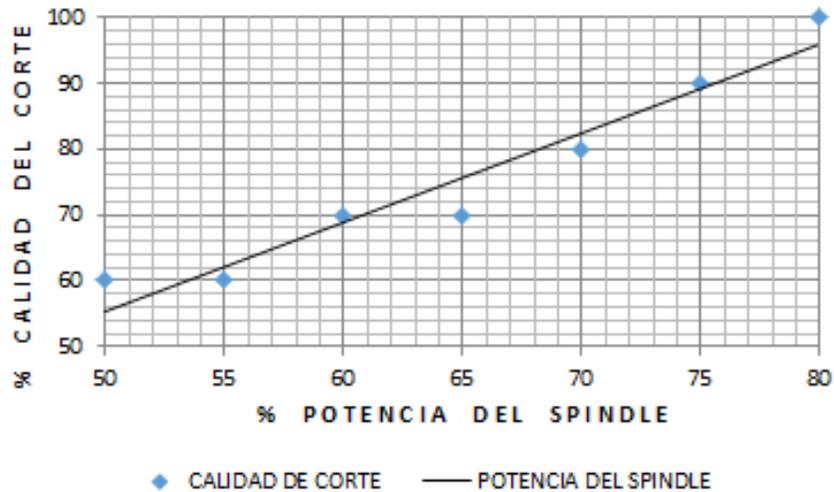


Figura 17 Corridas de prueba 1 a la 7.

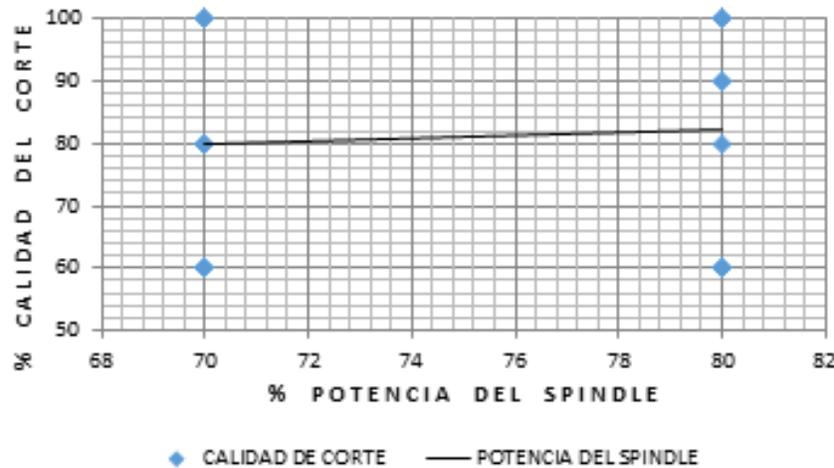


Figura 18 Corridas de prueba de la 43 a la 60.

Es importante notificar que los valores propuestos de la corrida #1 son los más bajos y que fueron incrementándose y combinándose poco a poco; así como también, no se han presentado aquí las corridas desde la #8 a la #42 ya que de la #43 a la #60 son las que brindaron los mejores resultados.

5. Discusión

Se puede concluir que los resultados obtenidos de las pruebas preliminares y corridas de producción fueron exitosos, pues mediante la metrología de calidad cada pieza fue rectificadas correctamente y se comprobó que el método y modelo

del nuevo diseño cumple con los requerimientos preestablecidos principalmente las de mejora de producción con calidad e inversión. Técnicamente se comprueba que el diseño mejoró en todos los aspectos comparando con el sistema original, gracias a la metodología, los cálculos, elementos o componentes utilizados en dicha integración. Por otro lado los valores agregados que surgieron al final de este proyecto fue que la amigabilidad de la interfaz de usuario mejoró por mucho el tiempo de entrenamiento de 8hrs máximo, de un usuario nuevo con experiencia en otros modelos similares. En cuanto a la optimización del espacio cubico, representó una mejora y eliminó el problema recurrente de colapso térmico-eléctrico del CPU y los drivers de los motores por sobrecalentamiento que se presentaba en el diseño original. Por otro lado no fue posible mejorar aún más la velocidad de los ejes ya que las piezas procesadas con mayor velocidad no aprobaban los estándares de calidad.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Juntas homocinéticas. https://es.wikipedia.org/wiki/Junta_homocin%C3%A9tica.
- [2] Control numérico: Lasheras, José María (1996). Tecnología mecánica y metrotecnica. Octavio y félez, S. A. Pp. 879 y ss. ISBN 84-7063-087-3.
- [3] Pahl and Beitz (2007), Engineering Design, A Systematic Approach. 3ª Edicion. Editorial SPRINGER. ISBN 978-1-84628-318-5.