

**ESTUDIO DEL FENÓMENO CHATTER EN EL TORNO IMOTURN
UTILIZADO EN EL LABORATORIO DE PROCESOS II DE LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE**

AUTORES:

CLAUDIA CRESPO VÁSQUEZ

DANIEL ARTEAGA VALDEBLANQUEZ

UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA

BARRANQUILLA

2014

**ESTUDIO DEL FENÓMENO CHATTER EN EL TORNO IMOTURN
UTILIZADO EN EL LABORATORIO DE PROCESOS II DE LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE**



CLAUDIA CRESPO VÁSQUEZ

DANIEL ARTEAGA VALDEBLANQUEZ

Anteproyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título
de ingeniero mecánico

DIRECTOR:

ANTONIO MANUEL SALTARÍN JIMENEZ

Ingeniero mecánico especialista en gestión de la energía

UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE

FACULTAD DE INGENIERIAS

PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA

BARRANQUILLA

2014

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE FIGURAS.....	5
INTRODUCCION.....	6
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.1 ANTECEDENTES CIENTÍFICOS DEL PROBLEMA.....	8
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	9
2. JUSTIFICACION	10
3. OBJETIVOS	11
3.1 OBJETIVO GENERAL	11
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
4. METODOLOGIA.....	12
4.1 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	12
4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	12
4.3 RECOLECCIÓN DE DATOS	12
4.4 ANÁLISIS DE DATOS.....	13
5. MARCOS DE REFERENCIA.....	14
5.1 ESTADO DEL ARTE	14
5.1.1 Importancia del fenómeno Chatter.....	14
5.1.2 Curvas de estabilidad.....	16
5.2 MARCO TEÓRICO	19
5.2.1 Antecedentes.....	19
5.2.2 Bases teóricas.....	20
5.2.2.1 Origen del fenómeno chatter	20
5.2.2.3. Acabado superficial.....	25
5.3 MARCO CONCEPTUAL	26
5.3.1 Torno mecánico	26
5.3.3 velocidad y avances de corte	29
5.3.3.1 Cálculo de la velocidad.....	30
5.3.4 Texturas de las superficies.....	30
5.3.4.1 Rugosidad de la Superficie.....	31
6. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	32

6.1 VERIFICACION TECNICA	32
6.2 CONDICIONES OPERATIVAS.....	32
6.2.1 Certificado de calidad.....	34
6.2.2 Establecimiento de parámetros.....	35
6.3 DESARROLLO DE LAS PRUEBAS.....	38
6.3.1 Toma de vibraciones.....	42
6.3.2 Análisis de rugosidad.....	57
6.3.2.1 Rugosidad Superficial.....	58
7. CONCLUSIONES.....	75
8. RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFIA	78

TABLA DE FIGURAS

1. SUPERFICIE CON RUGOSIDAD MICROSCOPICA.....	14
2. MARCAS DE CHATTER SOBRE PAREDES DELGADAS.....	21
3. REMOCIÓN DE CALOR CON LAS VIRUTAS DURANTE EL MECANIZADO....	22
4. ACCIÓN DEL LUBRICANTE DURANTE EL MECANIZADO.....	23
5. SUPERFICIE DE TRABAJO SEGÚN ÁNGULO DE POSICIÓN.....	26
6. TEXTURA DE UNA SUPERFICIE MECANIZADA.....	29
7. TORNO MECÁNICO DE LA UAC.....	31
8. CERTIFICADO DE CALIDAD DEL ACERO UTILIZADO.....	33
9. AJUSTE DE VELOCIDAD DE GIRO EN EL TORNO.....	35
10. IZQ. ÁNGULO DE INCIDENCIA OBTENIDO. DER. ANGULO DE ATAQUE OBTENIDO.....	36
11. ÁNGULO DE POSICIÓN DE LA HERRAMIENTA DE CORTE.....	37
12. EVIDENCIAS DEL PROCESO DE CILINDRADO.....	38
13. PIEZA CILINDRADA CON LOS PARÁMETROS INICIALES.....	38
14. PARTES DEL TORNO MECÁNICO.....	41
15. PUNTOS DE MEDICIÓN DEL CABEZAL DEL TORNO.....	42
16. PUNTOS DE MEDICIÓN DEL PORTA ÚTILES DEL TORNO.....	42
17. EQUIPO DE VIBRACIONES A-PREDICTOR.....	43
18. ESPECTRO DE VIBRACION EN PLACAS.....	55
19. RUGOSIMETRO MEDTEC.....	57
20. DIRECCIÓN DE ESTRIAS DE RUGOSIDAD.....	59

21. GRAFICO DE RUGOSIDADES.....	60
22. DESMONTAJE PALANCA DEL PORTA ÚTIL.....	67
23. DESMONTAJE CARCASA PORTA ÚTIL.....	67
24. MECANISMO DE LEVA DEL PORTA ÚTIL.....	68
25. DESMONTAJE PLACA DEL CARRO ORIENTABLE.....	69
26. IMPLEMENTACIÓN DE ARANDELA DE BRONCE.....	69
27. CILINDRADO DE PRUEBA FINAL PARAMETROS DE LA PIEZA 6.....	70
28. CILINDRADO DE PRUEBA FINAL PIEZA 6 ANGULO INCLINADO.....	71
29. CILINDRADO DE PRUEBA FINAL PIEZA 6 CON 500 REV/MIN.....	71
30. MEDICIÓN DE RUGOSIDAD DE LA PIEZA 6 ANTES Y DESPUES DE LA INTERVENCIÓN DEL TORNO.....	72
31. PERFIL DE VIBRACIONES DE UN TORNO.....	74

INTRODUCCION

Existen diversos problemas que se encuentran en un proceso de cilindrado, uno de los más determinantes es el fenómeno de vibración, que hace que la pieza no finalice con las características deseadas al terminar el proceso, por tal motivo se hace necesario el estudio del fenómeno Chatter en el torno utilizado, para obtener el nivel de calidad de nuestra pieza final.

Al realizar un análisis detallado de las perturbaciones durante el cilindrado de una pieza debido al fenómeno Chatter en el torno Imoturn, se conoce la calidad real que se obtiene de la pieza mecanizada, esto permite tener un avance y mejoramiento en la calidad de la pieza requerida. Con el estudio de las vibraciones se alcanzan un propósito en concreto que es el de finalizar el proceso de cilindrado con el conocimiento de la cercanía que se tiene a obtener una pieza con poca rugosidad y con las dimensiones deseadas.

Con este proyecto se busca lograr un cambio significativo en una de las herramientas más importantes utilizadas a lo largo de la carrera de ingeniería y obtener así un mejoramiento en el aprendizaje de los estudiantes, acompañado de muchos beneficios para la Universidad Autónoma del Caribe.

Para lograr los objetivos propuestos en esta investigación se realiza un análisis exhaustivo de las características del torno, donde se identifican las condiciones operativas del torno de la Universidad Autónoma del Caribe y se establecen los parámetros de corte ideales para obtener una pieza con el acabado superficial deseado, Se realizan pruebas de rugosidad que permitan identificar la pieza con menor rugosidad y pruebas de vibraciones que demuestran la influencia de las vibraciones conocidas como fenómeno Chatter en el acabado final de las piezas cilindradas.

Se espera que la realización de este proyecto sea de gran ayuda para el mejoramiento del aprendizaje y calidad de las instituciones en Barranquilla que presenten este curso como parte de su carrera profesional.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES CIENTÍFICOS DEL PROBLEMA

El torneado de piezas metálicas es un proceso utilizado para dar forma y dimensiones específicas a una pieza, mediante la eliminación de material, utilizando una herramienta de corte.

Estos tornos son de gran utilidad en Colombia, tanto así que se pueden encontrar también en pequeño talleres dedicados a la producción de piezas industriales, todo esto gracias a la obtención años atrás de estas máquinas-herramienta que venían de Europa, Estados Unidos y Japón, en estos países se ha ido perfeccionando el uso de estas máquinas con el fin de obtener características favorables como el cumplimiento de las tolerancias estipuladas y total brillo de las piezas torneadas, es por esto que se hace necesario seguir avanzando en las investigaciones correspondientes a este tipo de proceso en nuestro país, por tanto se crea esta investigación, buscando mejorar el proceso de torneado de piezas, por medio de la identificación y posterior reducción de las vibraciones durante el proceso de cilindrado en el torno Imoturn de la Universidad Autónoma del Caribe.

Las operaciones del torneado representan el 70% del total de los trabajos de mecanizado. La cantidad de las piezas torneadas se define por el cumplimiento de las tolerancias requeridas, el control de las formas y el acabado superficial final. El acabado superficial final, en nuestro medio, deja que desear en lo referente a los requisitos de calidad, defectos como ondulaciones, brillo deficiente y marcas de desbaste le resta presentación y prestaciones al producto final.

Los mecanizados con problemas pueden atribuirse a diversos factores como equipos en malas condiciones, operadores inexpertos, herramienta de corte no adecuada, mala elección de los parámetros de corte, el efecto de las vibraciones y el llamado Chatter que estas crean en las mencionadas operaciones.

La investigación pretende cuantificar los valores de vibración cuando ocurre el Chatter y su impacto en el perfil superficial de tal manera que se pueda saber de qué depende su incidencia para pretender minimizar sus negativos efectos en la superficie, lo cual solo puede realizarse vía experimental.

El problema de investigación de este proyecto se crea bajo la necesidad de obtener piezas torneadas con mayor calidad, por medio de la reducción de las vibraciones durante el proceso de cilindrado, fenómeno que sigue siendo un problema latente en los procesos de mecanizado.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera se pueden reducir las vibraciones generadas por el fenómeno Chatter en el proceso de cilindrado, para mejorar la calidad final de las piezas maquinadas en el Torno Imoturn de la Universidad Autónoma del Caribe?

2. JUSTIFICACION

Actualmente existe una gran competencia laboral, en especial en el área de ingeniería, es por esto que se hace necesaria la total y completa preparación de profesionales en esta disciplina.

La calidad de un profesional depende del monitoreo permanente de las herramientas utilizadas para impartir nuevos conocimientos, el avance de las tecnologías y la globalización de la vida laboral obligan a preparar profesionales con herramientas ajustadas a los avances tecnológicos diarios.

Las instituciones de hoy en día tienen como objetivo lograr acreditar sus programas académicos y con ello, impactar en el mercado laboral, esto se logra con la regulación permanente de todos sus procesos y procedimientos, la implementación de nuevas tecnologías para la enseñanza son la mejor evidencia del perfil profesional integral de un ingeniero, Por esto la Universidad Autónoma del Caribe concedora de todos estos aspectos influyentes en el buen desarrollo de sus programas académicos, permite desde la investigación formativa a los estudiantes explorar en todas sus herramientas pedagógicas para el mejoramiento de estas. Dentro del programa de ingeniería se adquieren conocimientos en el área de mecanizado de piezas, en el caso del torno Imoturn utilizado para este aprendizaje teóricamente se plantean ciertas tolerancias en las piezas, estas acompañadas de los acabados finales que se ven afectadas en la práctica del proceso debido principalmente a las vibraciones que se presentan durante el proceso de cilindrado en el torno Imoturn de la Universidad autónoma del Caribe.

El estudio del fenómeno Chatter que se presenta durante este proceso con la determinación de nuevos lineamientos, conducirá al mejoramiento de la calidad de los estudiantes en su aprendizaje y de igual manera al mantenimiento de la calidad del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Autónoma del Caribe

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio experimental del fenómeno Chatter para determinar alternativas que permitan el mejoramiento de la calidad de la pieza mecanizada en el torno Imoturn de la Universidad Autónoma del Caribe.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar que el torno cumpla los requerimientos técnicos y las especificaciones del fabricante para garantizar el estado normal operativo.
- Establecer las condiciones operativas ideales de los procesos de cilindrado para garantizar que los parámetros de corte, geometría de la herramienta y procedimiento utilizado sean los adecuados para el material cilindrado.
- Definir los parámetros de corte ideales y la rugosidad que se espera alcanzar en este tipo de fenómeno para establecer las mediciones que corresponda según el proceso de cilindrado
- Desarrollar las pruebas y generar los datos e información de análisis
- Explicar el comportamiento observado que facilite mejorar el acabado superficial y reducir el impacto del fenómeno Chatter durante el cilindrado

4. METODOLOGIA

4.1 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La investigación cuantitativa se dedica a recoger, procesar y analizar datos cuantitativos o numéricos sobre variables previamente determinadas. Esto ya hace darle una connotación que va más allá de un mero listado de datos organizados como resultado; pues estos datos que se muestran en el informe final, están en total consonancia con las variables que se declararon desde el principio y los resultados obtenidos van a brindar una realidad específica a la que estos están sujetos. Por lo anterior se puede determinar que para esta investigación se emplea el paradigma cuantitativo, ya que se realizara una recolección de datos basada en las teorías referentes a la investigación, seguidamente se lleva a cabo un minucioso análisis de los resultados, con el fin de extraer información significativa que contribuya con el objetivo de la investigación.

4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población que se maneja en este proyecto de grado es el torno Imoturn de la Universidad Autónoma del Caribe y la muestra se refiere a las piezas que serán objeto de estudio con respecto a las variables de control y respuesta esperadas durante el proceso de cilindrado.

4.3 RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos se realiza por medio de un proceso de investigación teórica que permite la implementación experimental en el torno Imoturn y posterior toma de medidas de rugosidad de las piezas obtenidas, determinando aproximaciones y promedios de calidad, que ayudan a determinar que tanto afecta el fenómeno de Chatter en el torneado de la pieza.

4.4 ANÁLISIS DE DATOS

Estos datos obtenidos serán tabulados y analizados minuciosamente para obtener más claridad acerca del fenómeno Chatter y la manera de reducir su impacto durante el cilindrado de piezas.

5. MARCOS DE REFERENCIA

5.1 ESTADO DEL ARTE

5.1.1 Importancia del fenómeno Chatter

Los estudios sobre el corte de metales permitieron que este pasara de ser un arte a una ciencia y tecnología en un poco más de 200 años; desde 1760, con R. Reynolds considerado el inventor de la primera máquina herramienta, hasta los grandes contribuidores como Kronenberg [10], Pijspanen[19], Ernest y Merchant [13] que llevaron las maquinas herramientas al nivel de los modernos centros de mecanizado de control numérico. Aunque es una tecnología convencional que comienza a ser obsoleta con respecto a nuevas tecnologías de manufactura, su versatilidad, capacidad de producir una gran cantidad de geometrías con precisión y los altos costos de las nuevas tecnologías hacen que continúe siendo utilizada ampliamente. El mecanizado por arranque de viruta es un complejo fenómeno físico que tiene implicaciones mecánicas (leyes de rozamiento y deformaciones plásticas), termodinámicas (desarrollo del calor) y metalúrgicas. La investigación se ha dado por medio de experimentación y planes estadísticos de muestreo, históricamente se han utilizado dos métodos: caracterización metalografía de viruta y técnicas cinematográficas (altas velocidades y fuertes aumentos). Para facilitar el estudio de este fenómeno se generó un modelo simplificado, el modelo de corte ortogonal. Este despreja muchas de las complejidades geométricas, empezando por tener en cuenta solo dos dimensiones cuando el proceso real es tridimensional, sin embargo describe el proceso con buena precisión. Por esto en este simulador se utiliza el modelo de corte ortogonal, tanto para la sección que tiene su mismo nombre como para el tornero virtual.¹

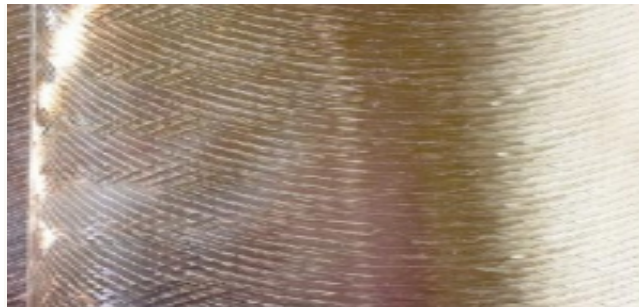
¹ ROJAS M, Fabio. Simulador de procesos de corte-simmeca v 2.0. En: Universidad de los andes de Bogotá, Colombia (Nov. 2010). 14p.

Mientras que el primero tan solo hace uso del modelo para dar información, el segundo además de hacer uso del modelo busca dar una aproximación a la factibilidad del proceso de maquinado para hacerlo real.

El fenómeno Chatter afecta de manera negativa a las operaciones de mecanizado con arranque de material. Este fenómeno tiene una gran importancia en el sector de la fabricación de piezas metálicas y de aeronaves, donde la tendencia es reducir el peso, fabricando piezas más ligeras, de paredes delgadas, lo que conlleva a un problema de vibraciones, comprometiendo la precisión y el acabado.²

El retemblado afecta a la rugosidad superficial, y debido a que ésta es una característica muy importante en las piezas mecánicas, es necesario un buen conocimiento de los parámetros que la determinan y la búsqueda de la mejor manera de predecir su comportamiento.

Figura 1. Superficie con rugosidad microscópica



Fuente: Una batalla ganada contra las vibraciones. En: revista tecnológica *izaromanufacturingtechnology* N°201 (Dic. 2010).

²Kallewaard, V (2009) Estudio del fenómeno de retemblado en los procesos de mecanizado con arranque de viruta en elementos esbeltos: Tesis, (Mayo 2009).

5.1.2 Curvas de estabilidad

La rugosidad teórica R_a (rugosidad media), expresada en micras (μm) depende principalmente del avance (a), expresado en mm/rev y del radio de acuerdo (r), Expresado en mm Su relación está dada por la ecuación 1.

$$R_a = \frac{1000 \cdot a^2}{32 \cdot r} \quad \text{Ecuación 1}$$

Tabla 1. Parámetros de rugosidad para un torneado

Rangos R_a		Comentarios Rugosidad
Menor	Mayor	
N.A	0,80	La pieza posee un acabado superfino
0,80	1,60	La pieza posee un acabado fino
1,60	3,00	La pieza posee un acabado bueno
3,00	6,30	La pieza posee un acabado burdo aceptable
6,30	N.A	La pieza posee un acabado burdo inaceptable

Fuente: ROJAS M, Fabio. Simulador de procesos de corte-simmeca v 2.0. En: Universidad de los andes de Bogotá, Colombia (Nov 2010). 17p.

En procesos de torneado existen rugosidades típicas entre $0.2\mu\text{m}$ y $6.3\mu\text{m}$ dependiendo del acabado (Ver Rugosidades Tabla 1). A pesar de que es posible obtener rugosidades muy altas si se disminuye el radio de acuerdo o se aumenta el avance, un tornero experimentado debería poder reducir este parámetro. En este sentido se espera que el estudiante defina un proceso que quede con un acabado de R_a entre $0.2\mu\text{m}$ y $6.3\mu\text{m}$. en caso de superar esto, el tornero virtual arroja el correspondiente comentario buscando que aumente su radio de acuerdo o reduzca su avance.³

³ ROJAS M, Fabio. Simulador de procesos de corte-simmeca v 2.0. En: Universidad de los andes de Bogotá, Colombia (Nov 2010). 20p.

En los procesos de mecanizado, el uso de modelos permite determinar las mejores condiciones de corte para la obtención de un buen acabado superficial, sin retemblado. La definición de estas condiciones de corte se lleva a cabo por medio de lo que se denominan diagramas de estabilidad.

Estos diagramas se llevan a cabo con un nuevo enfoque que permite definir la estabilidad en función de la máxima distancia pico-valle R_t de la rugosidad. Estos diagramas permiten determinar las condiciones que hacen que el proceso sea estable, en función del avance por revolución, la profundidad de corte y la velocidad de corte.⁴

En ciertas operaciones de maquinado, por ejemplo, torneado, taladrado y fresado, el dibujo vibratorio producido en la superficie de la pieza de trabajo por el corte previo influirá en la ejecución del siguiente corte. Esta vibración en la superficie ocasiona fluctuaciones en las fuerzas en el siguiente corte, lo cual genera nuevas oscilaciones entre la herramienta y la pieza de trabajo y otro dibujo o patrón vibratorio en la superficie de la pieza. Este proceso se conoce como "regeneración" y puede tener una importante influencia en la estabilidad del proceso, porque representa una señal vibratoria retroalimentada que entra al cuadro del proceso.⁵

Los estudios del traqueteo regenerativo indican que este proceso es más estable de lo que se podría esperar sólo con las variaciones en el espesor de las virutas. Esta estabilidad aumentada parece ser el resultado de las fuerzas dinámicas adicionales.

Principalmente las fuerzas dependientes de la velocidad que promueven la amortiguación, relacionadas con los movimientos vibratorios en el punto de contacto entre la herramienta y la pieza de trabajo.

⁴Kallewaard, V (2009) Estudio del fenómeno de retemblado en los procesos de mecanizado con arranque de viruta en elementos esbeltos: Tesis, (Mayo 2009).

⁵Cyrl, M; Charles, E (2002) Vibraciones en máquinas herramientas. En: Shock and Vibration Handbook, (Enero 2002)

Cuando se intenta corregir una vibración perjudicial, es importante saber desde el principio cuáles piezas están en movimiento y la naturaleza del movimiento. Una vez conocido, la selección del amortiguador adecuado es más fácil. La aplicación de esas técnicas para reducción de vibraciones por parte de los fabricantes y los usuarios, pueden acrecentar la calidad del trabajo y la productividad. Las velocidades de corte más altas y los materiales más duros tienden a ocasionar traqueteo; cada vez se trata de mejorar la productividad de las máquinas herramienta en condiciones de operación que son más exigentes con cada adelanto tecnológico que aparece en el renglón de la manufactura. Se exigen normas de calidad más estricta pero con el uso de materiales cada vez más difíciles de trabajar. Las herramientas de corte de velocidad alta, las ruedas abrasivas de alta velocidad y los nuevos fluidos para corte se combinan para que la operación de las máquinas herramienta llegue hasta los límites estático y dinámico de los existentes y, al mismo tiempo, el fabricante se ve obligado a economizar en el diseño de sus máquinas. En vista de estos factores el estudio de la vibración y traqueteo en las máquinas-herramienta se ha vuelto una seria preocupación y en la práctica muchos fabricantes han modificado el diseño y funcionamiento de éstas. Los investigadores profundizan en la teoría de las vibraciones y traqueteo para explicar y predecir el comportamiento de las máquinas. Estas investigaciones teóricas, conllevan a métodos prácticos para aminorar la vibración y también apoyan las tendencias aceptadas en fabricación y diseño. Al mismo tiempo, se crean nuevos instrumentos para el análisis de las vibraciones a fin de localizar la causa exacta de los puntos débiles o la fuente de la vibración en una máquina. La computadora digital, combinada con los datos de pruebas y las teorías más recientes dan al diseñador la oportunidad de corregir las máquinas con puntos débiles o rediseñarlas por completo para lograr un diseño equilibrado.⁶

La duración de las herramientas de corte y las ruedas abrasivas se reducen en forma impresionante con los cortes durante los cuales hay vibración

⁶Cyril, M; Charles, E (2002) Vibraciones en máquinas herramientas. En: Shock and Vibration Handbook, (Enero 2002)

excesiva y con frecuencia hay que desechar la pieza porque se exceden los límites de aspereza de superficie cuando hay vibración o traqueteo.

Asimismo, la máquina se deteriora a gran prisa durante los cortes con traqueteo por el desgaste excesivo de los componentes de precisión. Los trenes de impulsión, cojinetes del husillo y correderas son sólo algunos de los componentes sensibles de la máquina a los cuales perjudica la vibración. Esta puede ocasionar dificultades con las autoridades de higiene industrial (o de la OSHA en Estados Unidos). Aunque una máquina cumpla con todas las normas gubernamentales de funcionamiento normal, puede exceder de los límites de ruido cuando empieza el traqueteo en un corte.

Los fabricantes de máquinas herramientas están aumentando la capacidad de amortiguamiento de sus máquinas introduciendo en sus nuevos diseños bancadas de concreto que consiste en un 92% de roca dura y aproximadamente 8% de resina epoxidica, actuando la resina exclusivamente como elemento aglutinante. Comercialmente se conoce como GRANITAN. Tiene propiedades de amortiguación de 6 a 8 veces superior a la fundición, teniendo a su vez reducida conductividad térmica.⁷

5.2 MARCO TEÓRICO

5.2.1 Antecedentes

Los parámetros que se controlan y los que no pueden ser controlados durante el proceso de mecanizado de una pieza, ocasionan vibraciones relativas entre la herramienta de corte y la pieza de trabajo. El Chatter está definido como una forma de vibración auto excitada entre la herramienta y la pieza de trabajo, que aparece en la zona de corte.⁸ El fenómeno de Chatter es indeseable, principalmente debido a dos razones: La primera, es que las

⁷Cyril, M; Charles, E (2002) Vibraciones en máquinas herramientas. En: Shock and Vibration Handbook, (Enero 2002)

⁸Suresh, k.r, venkateswara r., Deshmukhs.g.A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model. International Journal of Machine Tools & Manufacture N°42 (2002) Pp 675–680

marcas dejadas por el Chatter sobre la superficie mecanizada, afectan la calidad superficial y la exactitud dimensional. La segunda razón tiene que ver con el hecho de que su efecto negativo no es sólo sobre la vida de la herramienta, sino también sobre la máquina en sí misma, y en particular sobre la vida del husillo.⁹

5.2.2 Bases teóricas

5.2.2.1 Origen del fenómeno Chatter

Las vibraciones de carácter auto excitado, fenómeno en adelante denominado por su acepción anglosajona *Chatter*, tienen su origen en un proceso de interacción entre el sistema vibratorio de la estructura de la máquina y el propio proceso de corte. A pesar de que pueden existir varias causas que desencadenan su aparición, en la mayoría de los casos éstas se deben al efecto de regeneración de viruta, por lo que también se denomina *Chatter* regenerativo.

Este efecto se inicia por la excitación de alguno de los modos estructurales de la máquina-herramienta debido a las fuerzas de corte, lo que provoca la aparición de ondulaciones en la pieza que se está mecanizando. Cuando la herramienta vuelve a cortar sobre la superficie ondulada ocurre que el espesor de viruta se ve afectado por éstas, y además se vuelven a crear unas nuevas por el mismo motivo. Dependiendo de la fase entre dos ondulaciones sucesivas, el grosor de la viruta puede crecer exponencialmente mientras que oscila a una frecuencia de *Chatter* próxima pero no igual a la del modo estructural dominante del sistema. No se trata de unas vibraciones de resonancia de los modos estructurales, y aunque la estructura de la máquina-herramienta sea estable en sí misma, la amplitud de las vibraciones que

⁹Toh, c.k. Vibration analysis in high speed rough and finish milling hardened steel. Journal of Sound and Vibration N°278 (2004) Pp 101–115

resulta de cortar una superficie que ha sido ondulada por el corte previo puede ser significativamente amplificada.¹⁰

El *Chatter* es un mecanismo de regeneración que ocurre cuando un inserto o diente de la herramienta corta el material, dejando una superficie ondulada sobre la pieza de trabajo. En el subsecuente corte se remueve la superficie previa e imprimiendo su propia superficie ondulada. En este caso, el espesor de viruta es variable debido a la diferencia de ambas marcas como se puede apreciar en la Figura 2. Si estas marcas coinciden en fase, entonces el espesor se mantiene constante y proceso es estable, en caso contrario debido a la variación del espesor que se corta, las fuerzas tienden a incrementarse ocasionando eventualmente vibraciones indeseables (traqueteo) en el proceso.

La vibración auto-excitada conocida como Chatter regenerativo es un problema dinámico que se traduce en la excitación de modos del sistema pieza-herramienta que afecta directamente su integridad. Durante el maquinado de paredes y suelos delgados provoca un mal acabado superficial o incluso defectos dimensionales, mientras que en operaciones de desbaste y corte con herramientas de gran voladizo, produce roturas y desgaste acelerado de los filos de corte y reduce la vida útil de los rodamientos del husillo. Es un problema indeseado que empíricamente se intenta evitar disminuyendo el avance, variando la velocidad de giro, rigidizando las piezas o eligiendo las condiciones de corte previamente determinadas mediante ensayos experimentales de prueba y error. Sin embargo, este problema dinámico puede evitarse identificando las condiciones más propicias para el mecanizado siguiendo ciertas metodologías relacionadas con el comportamiento dinámico.¹¹

¹⁰Unabatallaganada contra las vibraciones. En: revista tecnológica izaromanufacturingtechnology N°201 (Dic. 2010).

¹¹Metodología practica para optimización de material. En: Revista tecnológica TopMak de México N°82. (oct 2013)

Figura 2. Marcas de chatter sobre paredes delgadas.



Fuente: Metodología práctica para optimización de material. En: Revista tecnológica TopMak de México N°82. (Oct 2013).

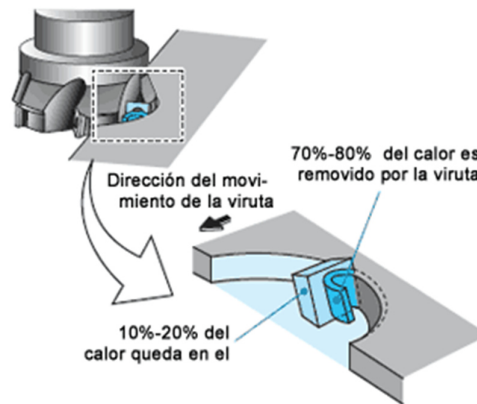
Dada la importancia de la fase experimental en la identificación de los parámetros óptimos de corte para un proceso de maquinado, en el presente trabajo se describe una serie de experimentos encaminados a determinar las condiciones ideales de maquinabilidad de piezas.

5.2.2.2. Objetivos del refrigerante

El calor generado durante el mecanizado se debe al impacto del filo con la pieza de trabajo y el roce con las virutas sobre la superficie del inserto. Generalmente, hasta un 80% del calor generado durante el mecanizado es removido junto con las virutas. El 20% restante, permanece en el filo.¹²

¹²Mitsubishi.Refrigeracion en el mecanizado.En: revista Info técnica HyTMetals de Argentina N° 63. (Dic-Ene 2011).

Figura 3. Remoción de calor con las virutas durante el mecanizado



Fuente: Mitsubishi. Refrigeración en el mecanizado. En: revista Info técnica HyTMetals de Argentina N° 63. (Dic-Ene 2011).

El calor generado durante el mecanizado suaviza el filo y acelera el desgaste, o causa cambios en las dimensiones de la pieza de trabajo debido a la expansión térmica. Al aplicar refrigerante, se evita que el calor se concentre en la herramienta y la pieza de trabajo debido a la acción de refrigerante. Esto resulta en una prolongación de la durabilidad de la herramienta y su exactitud.

En el corte de placas largas y delgadas, las mismas suelen deformarse debido al calor producido, a veces se realiza este tipo de mecanizado en un tanque lleno de refrigerante.

Acción de lubricación: Si las virutas generadas se deslizan por la superficie del lado principal, entonces problemas tales como deformación del filo y soldaduras pueden ser eliminados y la durabilidad puede ser prolongada. Además, la exactitud dimensional de la pieza mecanizada es estabilizada. Al aplicar refrigerante, se generará una película de lubricación entre las

virutas y el filo. Esta película permite que las virutas se deslicen por la superficie de la herramienta con facilidad, protegiendo el filo.

Figura 4. Acción del lubricante durante el mecanizado



Fuente: Mitsubishi. Refrigeración en el mecanizado. En: revista Infotécnica HyTMetals de Argentina N° 63. (Dic-Ene 2011).

Acción de infiltración: El refrigerante se infiltra, se escurre, entre el filo de la herramienta, sus lados y la pieza de trabajo. Esta acción produce refrigeración y lubricidad.

Acción de despeje: Se refiere a acción de despeje cuando la fuerza o presión del refrigerante es utilizada para dirigir físicamente o evacuar las virutas a medida que se generan. Cuando se realiza perforado utilizando brocas cañón, los refrigerantes utilizados necesitan tener un nivel de viscosidad moderado.

Tabla 2. Efecto del refrigerante y la herramienta de corte

Efecto en la herramienta Refrigerante	Incremento de la durabilidad	Incremento de la exactitud sup.	Mantiene e incrementa la exactitud dimensional	Previene la deformación térmica	Facilita el mecanizado	Despeja las virutas
Refrigeración	○		○	○		
Lubricación		○	○		○	○
Infiltración					○	○
Fluidez						○

Fuente: Mitsubishi. Refrigeración en el mecanizado. En: revista Info técnica HyTMetals de Argentina N° 63. (Dic-Ene 2011).

5.2.2.3. Acabado superficial

En una operación de cilindrado, al igual que en otros procesos de corte, la herramienta de corte deja un perfil espiral (marcas del avance), sobre la superficie maquinada conforme se mueve a través de la pieza de trabajo, cuando mayor sea el avance (f) y menor el radio de la punta de la herramienta (R), más pronunciadas serán estas marcas.

Uso de insertos de reciente tecnología para obtener un mejor acabado superficial: Existen estudios recientes que demuestran los beneficios de utilizar los insertos de materiales para insertos a base de alúmina-titanio-carburo en lugar de los materiales tradicionales de AISI D2, los cuales permiten dejar un acabado superficial fino, dentro de un valor de rugosidad de $Ra < 0.5 \mu\text{m}$ con inserto CC650WG y para valores de hasta $Ra < 0.8 \mu\text{m}$ con inserto CC650 que correspondan a valores de alta precisión. Dichos insertos permiten un mejor acabado superficial por lo que es importante considerarlos desde la elección para el maquinado en sus procesos de manufactura¹³

¹³Kalpajian & S. Fundamentos de maquinado. En: Manufactura, ingeniería y tecnología. Pearson: Quinta edición. México 2008. ISBN: 978-970-26-1026-7

5.3 MARCO CONCEPTUAL

5.3.1 Torno mecánico

En la industria metalúrgica, el torno es la herramienta que permite mecanizar piezas de forma geométrica. Estos dispositivos se encargan de hacer girar la pieza mientras otras herramientas de corte son empujadas contra su superficie, lo que permite cortar la viruta según las condiciones requeridas.

El torno metalúrgico tiene dos ejes de trabajo. La herramienta de corte se desplaza sobre rieles paralelos al eje de giro de la pieza (el **eje Z**), mientras que, sobre estos rieles, hay otro carro que se mueve en dirección radial a la pieza que se tornea (es decir, sobre el **eje X**).¹⁴

El corte de los metales se logra por medio de herramientas con la forma adecuada. Una herramienta sin los filos o ángulos bien seleccionados ocasionará gastos excesivos y pérdida de tiempo. En casi todas las herramientas de corte existen de manera definida: superficies, ángulos y filos. Las superficies de los útiles de las herramientas son la Superficie de ataque (Parte por la que la viruta sale de la herramienta) y la Superficie de incidencia (cara del útil que se dirige en contra de la superficie de corte de la pieza).

Los ángulos utilizados para herramientas de corte son:

Ángulo de incidencia α (alfa). Es el que se forma con la tangente de la pieza y la superficie de incidencia del útil. Sirve para disminuir la fricción entre la pieza y la herramienta.

Ángulo de filo β (beta). Es el que se forma con las superficies de incidencia y ataque del útil. Establece qué tan punzante es la herramienta y al mismo tiempo que tan débil es.

¹⁴Kalpajian & S. Fundamentos de maquinado. En: Manufactura, ingeniería y tecnología. Pearson: Quinta edición. México 2008. ISBN: 978-970-26-1026-7

Ángulo de ataque γ (gama). Es el ángulo que se forma entre la línea radial de la pieza y la superficie de ataque del útil. Sirve para el desalajo de la viruta, por lo que también disminuye la fricción de esta con la herramienta.

Ángulo de corte δ (delta). Es el formado por la tangente de la pieza y la superficie de ataque del útil. Define el ángulo de la fuerza resultante que actúa sobre el buril.

Ángulo de punta ϵ (épsilon). Se forma en la punta del útil por lo regular por el filo primario y el secundario. Permite definir el ancho de la viruta obtenida.

Ángulo de posición χ (xi). Se obtiene por el filo principal de la herramienta y el eje de simetría de la pieza. Aumenta o disminuye la acción del filo principal de la herramienta.

Ángulo de posición λ (lambda). Es el que se forma con el eje de la herramienta y la radial de la pieza. Permite un incremento progresivo de las fuerzas de corte al principio y al final de la pasada, disminuye el espesor de la viruta y por lo tanto la presión sobre el filo, refuerza la punta de la herramienta, incrementa la longitud de contacto entre el filo de corte y la pieza, lo cual puede dar lugar a vibraciones y si este ángulo es de 90° , aparece una componente de fuerza en sentido radial que puede provocar flexiones en la pieza si esta es delgada.¹⁵

¹⁵STEWART C. BLACK, VIC CHILES ET AL. Principios de Ingeniería de Manufactura, Compañía Editorial Mexicana.

Figura 5. Superficie de trabajo según ángulo de posición



Fuente: STEWART C. BLACK, VIC CHILES ET AL. Principios de Ingeniería de Manufactura, Compañía Editorial Mexicana.

5.3.2 tolerancias

Tabla 3. Simbología de tolerancias

SIMBOLOS DE LAS TOLERANCIAS		
TOLERANCIA		Simb
TOLERANCIAS DE FORMA	RECTITUD	—
	PLANICIDAD	▭
	REDONDEZ	○
	CILINDRICIDAD	⊘
	FORMA DE UNA LINEA	⤿
	FORMA DE UNA SUPERFICIE	Ⓧ

SIMBOLOS DE LAS TOLERANCIAS		
TOLERANCIA		Simb
ORIENTACION	PARALELISMO	//
	PERPENDICULARIDAD	⊥
	INCLINACION	∠
SITUACION	POSICION	⊕
	COAXIALIDAD	⊙
	SIMETRIA	≡
OSCILACION	CIRCULAR	↗
	TOTAL	↗↘

Fuente: Carbajal, Yaazer. Metrología avanzada: Acumulación de tolerancias. En: Curso de metrología: Instituto Tecnológico de Chihuahua de México (Dic-2011) pp. 26

En mecánica, la tolerancia de fabricación se puede definir como los valores máximo y mínimo que deben medir un eje u orificio para que en el momento de su encaje el eje y el orificio puedan ajustarse sin problemas. Si se supera el valor máximo o el mínimo, entonces resultará imposible encajar

el eje dentro del orificio, por lo que se dirá que el mecánico se ha pasado del valor de tolerancia.

La nomenclatura de las tolerancias puede ser de un estilo conocido y preferido:

- Límites. Cuando las tolerancias denotan los límites se escribe el mayor límite subrayado, y el límite menor en la parte inferior, o bajo la línea.
- Básico. Un rectángulo encierra la dimensión teóricamente perfecta.
- Simétrica. La tolerancia es equitativa hacia la delimitación mayor que la menor.
- Unilateral. Ambos valores de limitantes son hacia el lado mayor o hacia el menor.

5.3.3 Velocidad y avances de corte

La velocidad a la cual gira la pieza de trabajo en el torno es un factor importante y puede influir en el volumen de producción y en la duración de la herramienta de corte. Una velocidad muy baja en el torno ocasionará pérdidas de tiempo; una velocidad muy alta hará que la herramienta se desafile muy pronto y se perderá tiempo para volver a afilarla. Por ello, la velocidad y el avance correctos son importantes según el material de la pieza y el tipo de herramienta de corte que se utilice.

La velocidad de corte se expresa en pies o en metros por minuto. Por ejemplo, si el acero de máquina tiene una velocidad de corte de 100 pies (30 m) por minuto, se debe ajustar la velocidad del torno de modo que 100 pies (30 m) de la circunferencia de la pieza de trabajo pasen frente a la punta de la herramienta en un minuto.¹⁶

¹⁶Carbajal, Yaazer. Metrología avanzada: Acumulación de tolerancias. En: Curso de metrología: Instituto Tecnológico de Chihuahua de México (Dic-2011) pp. 26-31

5.3.3.1 Cálculo de la velocidad

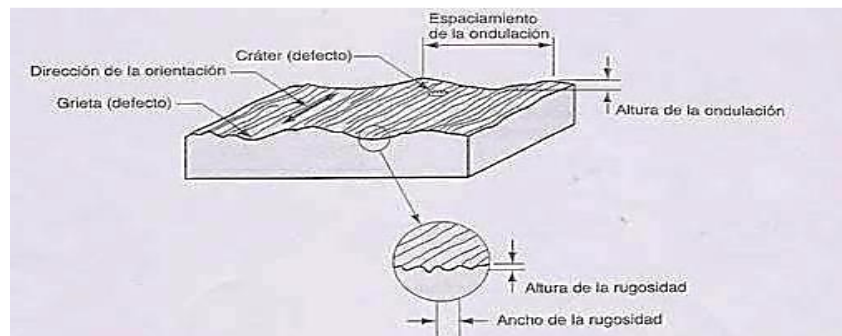
Para poder calcular las revoluciones por minuto (r/min) a las cuales se debe ajustar el torno, hay que conocer el diámetro de la pieza y la velocidad de corte del material. Las r/min del torno cuando se trabaja en milímetros se calculan como sigue (Ecuación 2):

$$R/\text{min} = VC \text{ (m)} \times 1000 / \pi \times D \text{ (mm)}. \quad \text{Ecuación 2}$$

5.3.4 Texturas de las superficies

La textura de la superficie consiste en las desviaciones repetitivas o aleatorias de la superficie nominal de un objeto; la definen cuatro características: rugosidad, ondulación, orientación y defectos o fallas, como se observa en la Imagen 13.

Figura 6. Textura de una superficie mecanizada



Fuente: Mayorga, José. Acabados superficiales: normas de acabado y simbología. En: Universidad de castilla-la mancha de Madrid (Oct 2010) pp 82-86

La rugosidad se refiere a las desviaciones pequeñas, espaciadas finamente, de la superficie nominal y que están determinadas por las características del material y el proceso que formó la superficie.

5.3.4.1 Rugosidad de la Superficie

La rugosidad de una superficie es una característica mensurable, con base en las desviaciones de la rugosidad según se definió antes. El acabado de la superficie es un término más subjetivo que denota la suavidad y calidad general de una superficie. En el habla popular, es frecuente utilizar el acabado superficial o de la superficie como sinónimo de su rugosidad.¹⁷

La calidad de la rugosidad superficial se maneja por las siguientes normas:

UNE 82301:1986 Rugosidad superficial. Parámetros, sus valores y las reglas generales para la determinación de las especificaciones (ISO 468: 1982). Calidad superficial: Método del perfil. Términos, definiciones y parámetros del estado superficial (ISO 4287:1997), y UNE 1037:1983. Indicaciones de los estados superficiales en los dibujos (ISO 1302: 1978), la rugosidad de la superficie se define como el promedio de las desviaciones verticales a partir de la superficie nominal, en una longitud especificada de la superficie. Por lo general se utiliza un promedio aritmético (AA), con base en los valores absolutos de las desviaciones, y este valor de la rugosidad se conoce con el nombre de rugosidad promedio.¹⁸

¹⁷Carbajal, Yaazer. Metrología avanzada: Acumulación de tolerancias. En: Curso de metrología: Instituto Tecnológico de Chihuahua de México (Dic-2011) pp. 26-31

¹⁸Mayorga, Jose. acabados superficiales: normas de acabado y simbología. En: Universidad de castilla-la mancha de Madrid (Oct 2010) pp 82-86

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1 VERIFICACION TECNICA

Para empezar con el desarrollo del proyecto se hizo necesaria una verificación y ajuste de las especificaciones técnicas del torno mecánico, por medio de nivelación de la bancada y alineación del eje principal.

Figura 7. Torno mecánico de la Universidad Autónoma del Caribe



Fuente: Los autores

Se realiza inspección visual y toma de medidas que comprobaron los requerimientos técnicos del torno Imoturn JUMBO 40B-1000 obteniendo:

- Distancia entre puntos: 1000 mm
- Volteo sobre la Bancada: 400 mm
- Volteo sobre el escote: 630 mm
- Ancho de la Bancada: 390 mm
- Agujero husillo: 82 mm
- Potencia del Motor principal: 6,811 KW
- Peso: 2.050 Kg

6.2 CONDICIONES OPERATIVAS.

Para obtener un acabado sin rayas y con un aspecto aceptable en la superficie de una pieza torneada es necesario utilizar los parámetros de corte adecuados que el material requiera para así tener como resultado una pieza que para el mercado sea llamativa y muy interesante.

Los parámetros de corte son los que te dictaminan los datos que se deben introducir en un proceso de torneado y varían sus valores de acuerdo al material que se vaya a trabajar. En el caso de este experimento el material al cual se le realizó el proceso de torneado fue un acero 1045 con tratamiento de recocido superficial, El recocido consiste en calentar el metal hasta una determinada temperatura para después dejar que se enfríe lentamente, habitualmente, apagando el horno y dejando el metal en su interior para que su temperatura disminuya de forma progresiva, la adquisición del acero 1045 con este tratamiento proporciona eliminación de tensiones internas y aumento ductilidad que ayuda a minimizar el impacto de vibraciones.

También se pueden encontrar los valores de los parámetros de corte por medio de la dureza del material y son igual de efectivos a la hora de tornear, por tanto se hizo necesario la medición de dureza y la investigación de parámetros acorde a su dureza, teniendo en cuenta el tratamiento térmico realizado a las piezas y estos fueron los resultados.

6.2.1 Certificado de calidad

Este certificado de calidad fue entregado por la ferretería MUNDIAL DE MATERIALES LTDA. En donde se realizó la compra del acero 1045.

Figura8. Certificado de calidad del acero utilizado



CERTIFICADO DE CALIDAD

Fecha emisión: 11 de Febrero de 2013

Cliente / Sold To: MUNDIAL DE METALES
Factura / Invoice: 67063

O.P.
24836

Grado / Grade
1045

Perfil / Profile
redondo

Composición Química - Chemical Composition

elemento	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Ni	%Cr	%Cu	%Mo	%Nb	%Sn	%Pb
	0.45	0.8	0.23	0.014	0.007	0.01	0.11	0.02	0	0	0	0

No colada: 1114048

Propiedades Mecánicas / Mechanical Properties

Ensayo Tracción Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Ensayo Dureza Test Hardness (HRB-HRC)
Aprox 76.19	96.5 HRB

- Datos ensayo de tracción teórico según tablas de conversión

Dimensiones / Sizes

Ovalidad	Nominal (mm)	Variación permisible Permissible variation(mm)	Real (mm)
0.02	38.10 mm	37.94/38.10	38.06 - 38.08

Fuente: ferretería MUNDIAL DE MATERIALES LTDA.

6.2.2 Establecimiento de parámetros

Con base al certificado de calidad y dureza del acero que proporciona la resistencia a la tensión del acero (76.19kg/mm^2) se hizo necesario realizar una consulta específica de los parámetros de corte, basada en la herramienta de corte (HSS: Acero rápido), la dureza del acero 1045 y teniendo en cuenta que las piezas a cilindrar fueron sometidas a recocido superficial. Se obtienen los resultados en la tabla 4 que a continuación se muestra.

Tabla 4. Parámetros de corte del acero para torneado

Material de la pieza (estado recocido)	Material de la herramienta	Ángulo de corte		Desbaste		Acabado	
		1	2	Velocidad de corte m/min	Avance mm/rev	Velocidad de corte m/min	Avance mm/rev
Acero, resistencia a la tensión 50 kg/mm^2 (140 BHN)	Acero para herramientas al carbono	8°	20°	14	0.5	20	0.2
	Acero aleado para herramientas	8°	20°	22	1	30	0.5
	Carburo de tungsteno	5°	18°	150	2.5	250	0.25
Acero, resistencia a la tensión $50-70\text{ kg/mm}^2$ (150-190 BHN)	Acero para herramientas al carbono	8°	14°	10	0.5	15	0.2
	Acero aleado para herramientas	8°	14°	20	1	24	0.5
	Carburo de tungsteno	5°	14°	120	2.5	200	0.25
Acero, resistencia a la tensión $70-85\text{ kg/mm}^2$ (200-250 BHN)	Acero para herramientas al carbono	8°	8°	8	0.5	12	0.2
	Acero aleado para herramientas	8°	8°	15	1	20	0.5
	Carburo de tungsteno	5°	12°	80	2	140	0.2
Acero para herramientas (260-340 BHN)	Acero aleado para herramientas	6°	3°	12	1	16	0.5
	Carburo de tungsteno	5°	2°	30	0.6	50	0.15

Fuente: LABORATORIO DE PRODUCCIÓN. Curso de procesos de manufactura. En: Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, Colombia (Enero 2007) 28p.

Teniendo los parametros de corte que rigen a el acero 1045 por medio de su dureza solo queda proceder a realizar las formulas que nos permitiran obtener los datos que hay que introducirle a el torno donde $V_c = 12\text{m/min}$ (Ver tabla 4.); $f = 0,2\text{mm/rev}$ (Ver tabla 4.):

$$N = \frac{V_c \left(\frac{m}{min}\right) * 1000}{\pi * D(mm)} \quad \text{Ecuación 3.}$$

$$N = \frac{12 \left(\frac{m}{min}\right) * 1000}{\pi * 38\text{mm}} = 100,51\text{RPM}$$

Como se observa en la Figura 9. El valor hallado para N (100,51rpm) en la ecuación anterior, No se encuentra en el torno utilizado, por esto se toma el valor más cercano (105 rpm).

Figura 9. Ajuste de velocidad de giro en el torno



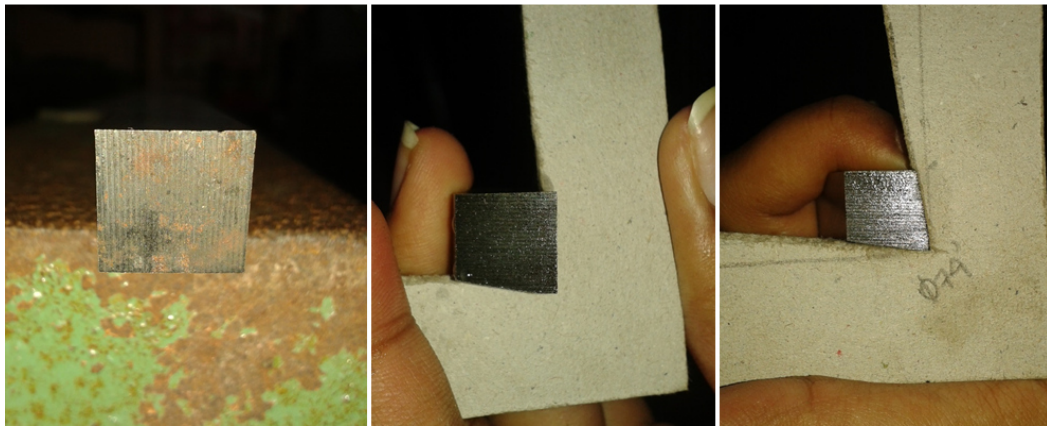
Fuente: Los autores

$$F\left(\frac{mm}{min}\right) = N(rpm) * f\left(\frac{mm}{rpm}\right)$$

$$F\left(\frac{mm}{min}\right) = 105Rev/min * 0,2\frac{mm}{rev} = 21$$

Luego de obtener los parametros para el proceso de cilindrado se requiere esmerilar la herramienta de corte hasta conseguir 8° en el ángulo 1 (ángulo de incidencia) y 8° en el ángulo 2 (ángulo de ataque), Los cuales son recomendados por la tabla 4. A continuación se evidencia la herramienta de corte al finalizar el esmerilado realizado hasta conseguir los ángulos deseados.

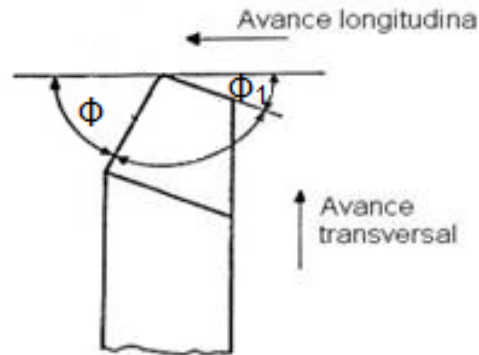
Figura 10. Izq. Ángulo de incidencia obtenido. Der. Ángulo de ataque obtenido



Fuente: Los autores

Al momento de cilindrar las piezas se tiene en cuenta además de los ángulos de filo de la herramienta, el ángulo de posición de la misma durante el proceso de cilindrado, el cual es detallado en la siguiente imagen (Figura 11) donde Φ se refiere al ángulo de posición principal y Φ_1 se refiere al ángulo de posición secundario, el ángulo de posición de la herramienta en este proyecto fue regulado durante las pruebas para obtener mejores acabados.

Figura 11. Ángulo de posición de la herramienta de corte.



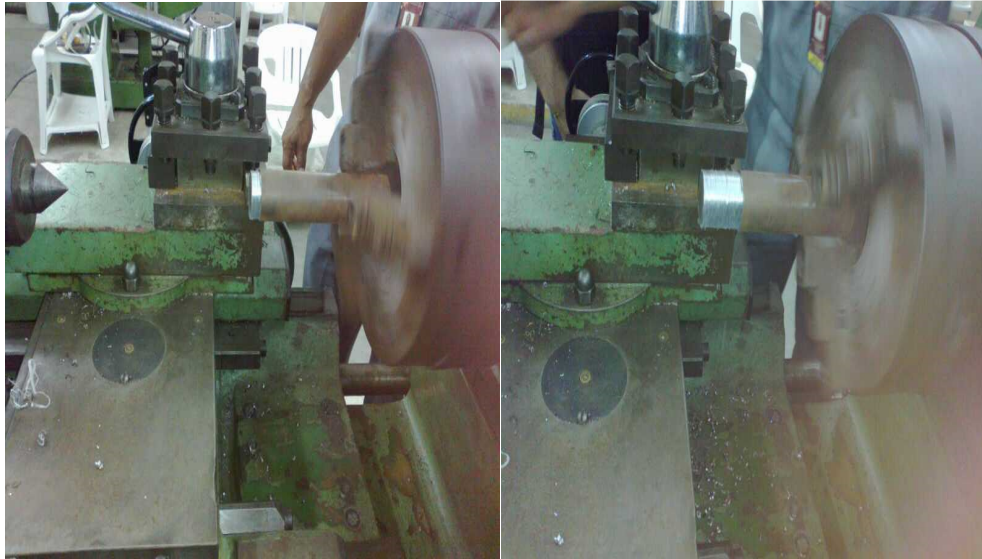
Fuente: Los autores.

El ángulo de posición permite un incremento progresivo de las fuerzas de corte al principio y al final de la pasada, disminuye el espesor de la viruta y por lo tanto la presión sobre el filo, refuerza la punta de la herramienta, incrementa la longitud de contacto entre el filo de corte y la pieza, lo cual puede dar lugar a vibraciones y si este ángulo es de 90° , pero por su parte logra mejores acabados superficiales en las piezas de trabajo.

6.3 DESARROLLO DE LAS PRUEBAS

Teniendo todos los parámetros de corte para el cilindrado del acero 1045 y la herramienta de corte esmerilada con los ángulos de ataque e incidencia en 8° y 8° respectivamente, Se hace posible realizar el proceso de cilindrado en el torno Imoturn.

Figura 12. Evidencias del proceso de cilindrado



Fuente: Los Autores

Después de haber realizado el proceso con los ángulos de corte determinados según la Tabla 4. Para la herramienta de corte y con los parámetros recomendados de acuerdo a la dureza del acero 1045 se observa que los resultados obtenidos no fueron los esperados.







Figura 13. Pieza cilindrada con los parámetros iniciales.



Fuente: Los autores

En la imagen anterior (Figura 13), se observa las ondulaciones y marcas de la pieza cilindrada con los parámetros determinados inicialmente, por lo cual se presenta la necesidad de variar el avance, el ángulo de posición de la herramienta de corte y las profundidades de corte para analizar con que parámetros se logra obtener la calidad de pieza que se desea y con una serie de desbastes con parámetros diferentes, los resultados y los cambios que son observados a simple vista con respecto a la rugosidad que es la encargada de decir que pieza tiene una mejor calidad son observados a continuación en la tabla 5. Donde se evidencian los parámetros utilizados por cada grupo de piezas y a su vez el número de corridas o experiencias realizadas por grupo, de cada grupo de parámetros evidenciados se realizan 6 experiencias de acuerdo a la planificación y análisis del estudio por medio de la formación de bloques.

Tabla 5. Variables de corte utilizadas en el experimento

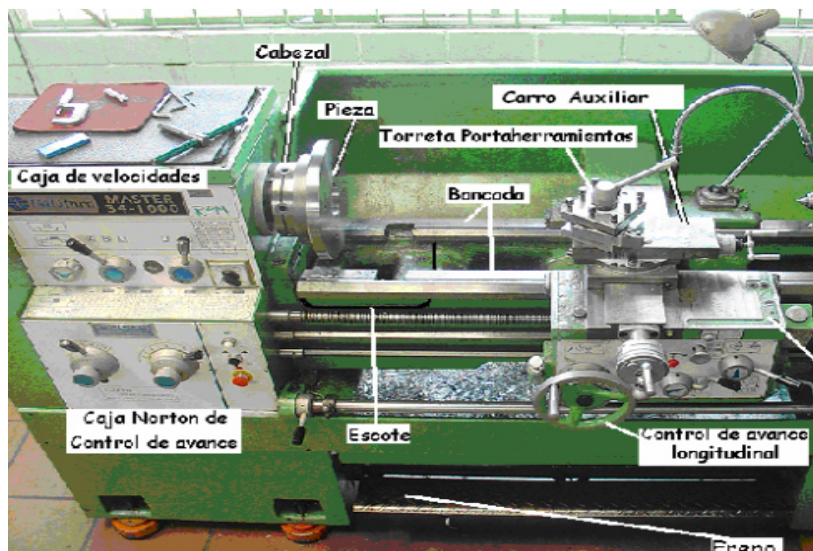
pieza	# de Corridas (un)	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Velocidad de giro (Rev/min)	Profundidad de corte (mm)	Ángulo de posición secundario (°)	Imagen
1	6	12	0,028	105	0,5	45	
2	6	12	0,2	105	0,5	30	
3	6	12	0,2	105	0,4	0	
4	6	12	0,2	105	0,2	0	
5	6	12	0,028	105	0,5	45	
6	6	12	0,028	105	0,2	0	

Fuente: Los autores

6.3.1 Toma de vibraciones.

Para la realización de esta investigación se decide enfocar la medición de vibraciones en la sujeción de la pieza de trabajo y la sujeción de la herramienta de corte, por lo cual se muestran en la figura 15 y la figura 16 los puntos de medición tomados durante este estudio en el cabezal del torno y las placas del porta útiles del torno Imoturn.

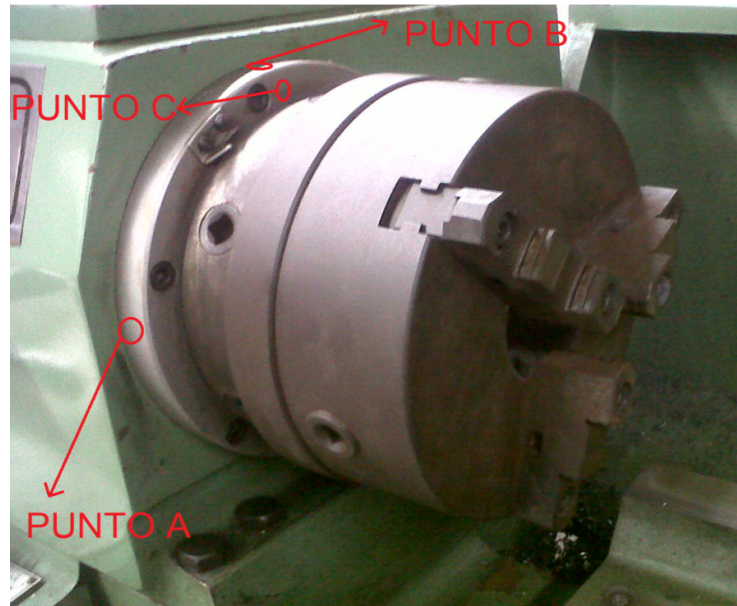
Figura 14. Partes del torno mecánico



Fuente: NODREAU, Robert; LORENZ Meler, Enrique. El torno y la fresadora. Versión de 4ta edición francesa. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona

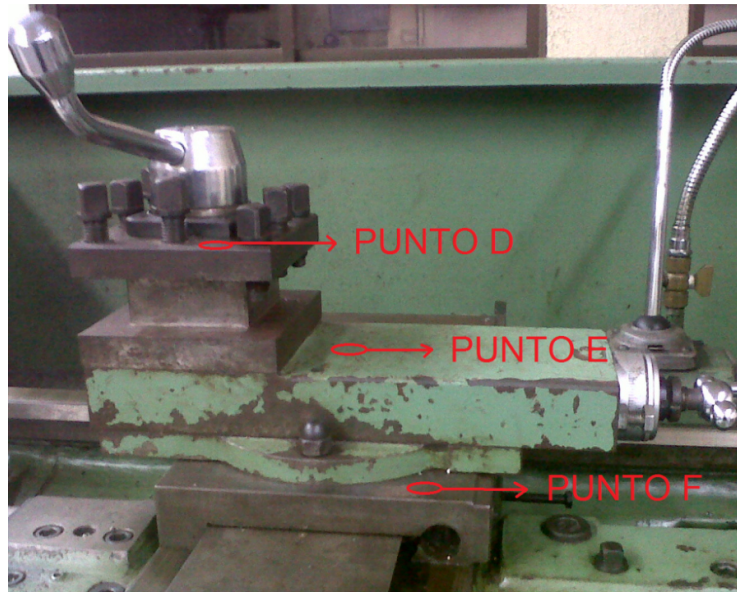
En la figura 15 se observan los puntos correspondientes al cabezal del torno, medición de punto horizontal (PUNTO A), medición de punto vertical (PUNTO B), medición de punto axial (PUNTO C); por su parte en la figura 16 se observan los puntos de medición del porta útiles, medición de punto en placa de la torreta porta herramientas (PUNTO D), medición de punto en placa del carro orientable (PUNTO E), medición de punto en placa en carro transversal (PUNTO F)

Figura 15. Puntos de medición del cabezal del torno



Fuente: Los autores

Figura 16. Puntos de medición del porta útiles del torno



Fuentes: Los autores

En los puntos mostrados en la figura 15 y la figura 16 se realizaron las mediciones de vibración mientras se cilindraban las probetas con los parámetros obtenidos y con ángulos de posición en 45° y 0°. El equipo utilizado para la medición de vibraciones fue un colector y analizador de vibraciones A-PREDICTOR de la empresa A-MAQ.

Figura 17. Equipo de vibraciones A-PREDICTOR



Fuente: Los autores

Para la captura de datos el sistema A-PREDICTOR utilizado cuenta con los siguientes canales:

- 3 Canales para Vibración (acelerómetro, velocímetro, sensor de proximidad).
- 1 Canal para Sensor Óptico de marca de Giro (medición de fases).
- Adicionalmente cuenta con Cámara integrada, puertos USB, Red inalámbrica, puerto para Videobeam, LAN, RS232.

El sistema A-PREDICTOR cuenta con sofisticadas herramientas de software para medición, diagnóstico y balanceo con base en vibraciones, compatibles con Windows XP y Windows 7.

Tabla 6. Rangos de severidad de vibración para máquinas pequeñas (clase I), máquinas de tamaño mediano (clase II), grandes máquinas (clase III), y turbo máquinas (clase IV).

RANGO DE SEVERIDAD DE VIBRACION		CLASES DE MÁQUINAS			
VELOCIDAD RMS (mm/s)	VELOCIDAD 0-PK (mm/s)	CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV
0.28	0.3960	A	A	A	A
0.45	0.6364				
0.71	1.0041				
1.12	1.5839	B	B	B	
1.8	2.5456				
2.8	3.9598	C	C	C	B
4.5	6.3640				
7.1	10.0409	D	D	C	C
11.2	15.8392				
18	25.4558				
28	39.5980				
45	63.6396				
71	100.4092				
FSM para las máquinas		1.57020	1	0.62608	0.39625
FSN para los niveles (1/FSM)		0.63686	1	1.59725	2.52364

Fuente: Límites de FS para 4 tipos de máquinas. Norma ISO 2372.

FSM: Factor de servicio para las clases de máquinas.

FSN: Factor de servicio para los niveles.

La anterior es una de las clasificaciones recomendadas para la escogencia del factor de servicio de una máquina. Pero como se ha dicho, no está dada para todas las aplicaciones y por lo tanto puede sustituirse de acuerdo a situaciones particulares que se presenten. El significado de estas clases se presenta a continuación:

CLASE I: Partes individuales que se conectan a una máquina en operación normal. (Los motores eléctricos que no pasan de 15 kW son ejemplos típicos de esta categoría).

CLASE II: Máquinas de tamaño medio (generalmente motores de 15 a 75 kW de salida), sin cimientos especiales, o máquinas rígidas (por encima de 300 kW) montadas sobre cimientos especiales.

CLASE III: Grandes motores y otras máquinas con grandes masas rotantes montadas sobre cimientos rígidos y pesados, los cuales son relativamente duros en la dirección de medida de vibración.

CLASE IV: Grandes motores y otras máquinas con grandes masas rotantes montadas en cimientos relativamente flexibles en la dirección de la medida de vibración (por ejemplo, un turbogenerador, especialmente aquellos con subestructuras ligeras).Fuera de estas clases, también existen otras dos que se dan para maquinaria extremadamente robusta o especial que necesita factores de servicio aún más grandes.

CLASE V: Máquinas y sistemas de conducción mecánica con esfuerzos de desbalanceo inerciales (debido a partes reciprocantes) montadas sobre cimientos, los cuales son relativamente rígidos en la dirección de la medida de vibración.

CLASE VI: Máquinas y sistemas de conducción mecánica con esfuerzos de desbalanceo inerciales (debido a partes reciprocantes) montadas sobre cimientos, los cuales son relativamente suaves en la dirección de la medida de vibración; también pertenecen máquinas con rotación de masas flojas acopladas, tal como golpeteo de eje en un molino; máquinas centrífugas con desbalanceo variable capaces de operar sin componentes conectados; pantallas de vibración, máquinas de prueba de fatiga dinámica y excitadores de vibración usados en plantas de proceso.

6.3.1.1 Espectros de medición

La medida en desplazamiento (mm en SI) es importante para reconocer patrones que están a muy baja frecuencia. Los picos de vibración que están al comienzo del espectro son mejor resaltados.

Esta es una medida especial para hallar anomalías en chumaceras de aceite, muy utilizadas en turbo maquinaria. La medida en velocidad (mm/s en SI, in/s en S. Inglés) permite reconocer la mayoría de los patrones de fallas primarias y de otros componentes cuando están en un estado evidente, como por ejemplo desbalanceo, desalineación, holgura mecánica, fricciones abrasivas, resonancias, pulsaciones, engranajes de pocos dientes, sistema de poleas, aspas de bombas y ventiladores. Esta variable de velocidad es importante para resaltar picos de bajas y medias frecuencias.

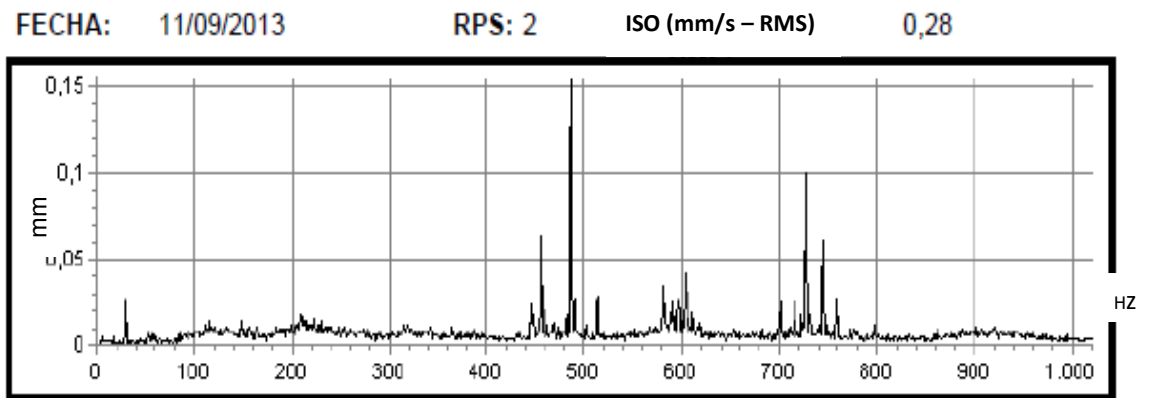
La medida en aceleración (mG o G en ambos sistemas de medición) permite reconocer patrones asociados a contactos metal-metal y fricciones abrasivas, problemas en engranajes, cavitación, entre otros. Esta variable resalta picos de vibración de medias y altas frecuencias, y es muy utilizada para la detección prematura de fallas en chumaceras y rodamientos, y otros componentes como engranajes.

Para efectos de esta investigación se decide tomar medidas de vibraciones en espectros de velocidad que permiten reconocer la mayoría de los patrones de fallas primarias y de otros componentes cuando están en un estado evidente. Para la toma de vibraciones se tiene en cuenta datos importantes como las RPS (Revoluciones por segundo) del torno durante el proceso de cilindrado, Los valores de la tabla son evidenciados en mm/s y su valor general mediante RMS (Root mean square), que se refiere a una media cuadrática de los picos obtenidos a lo largo de la gráfica de vibraciones utilizada por la Norma ISO 2372 para establecer rangos de severidad de vibraciones en máquinas.

Se establece la pieza # 6 como guía para medición de vibraciones, debido a que visualmente y al tacto es la pieza obtenida con mejores resultados superficiales, para verificar la incidencia de la posición de la herramienta de corte en las vibraciones presentadas durante el cilindrado se realiza toma de medida de vibraciones con los parámetros de la pieza 6, con herramienta de corte con ángulo de posición primario de 45° (las piezas cilindradas con herramienta de corte en ángulo de posición 45° presentaron menor ruido) y con herramienta de corte con ángulo de posición primario de 90° (las piezas cilindradas con herramienta de corte en ángulo de posición 90° presentaron mayor ruido), esto permite verificar que al incrementar la longitud de contacto entre el filo de corte y la pieza se presentan vibraciones significativas.

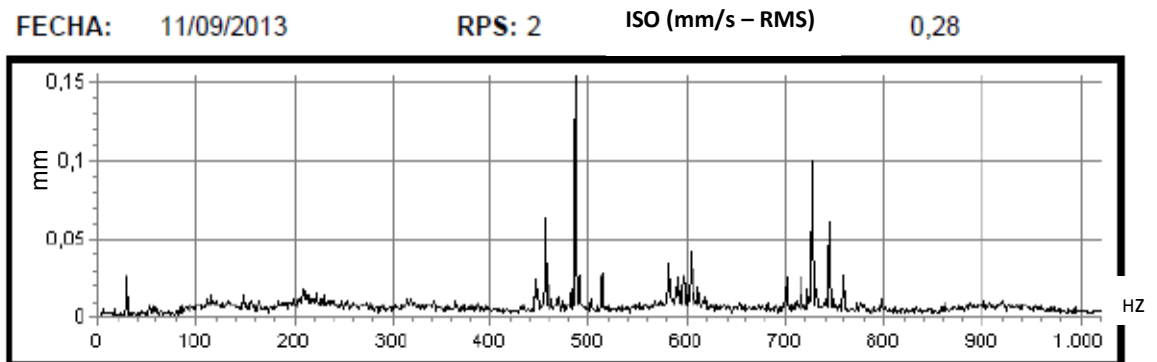
Las gráficas 1, 2 y 3 muestran el comportamiento espectral de las vibraciones medidas en el cabezal del torno (ver figura 15) en el punto A (gráfica 1), punto B (Gráfica 2.), punto C (Gráfica 3.) mientras se cilindraba la pieza con la herramienta de corte con ángulo de posición primario de 45°, Estas condiciones presentan bajas vibraciones pero deficiente calidad superficial.

Gráfica 1. Vibraciones del torno mecánico punto: A Herramienta con ángulo de posición secundario 45°



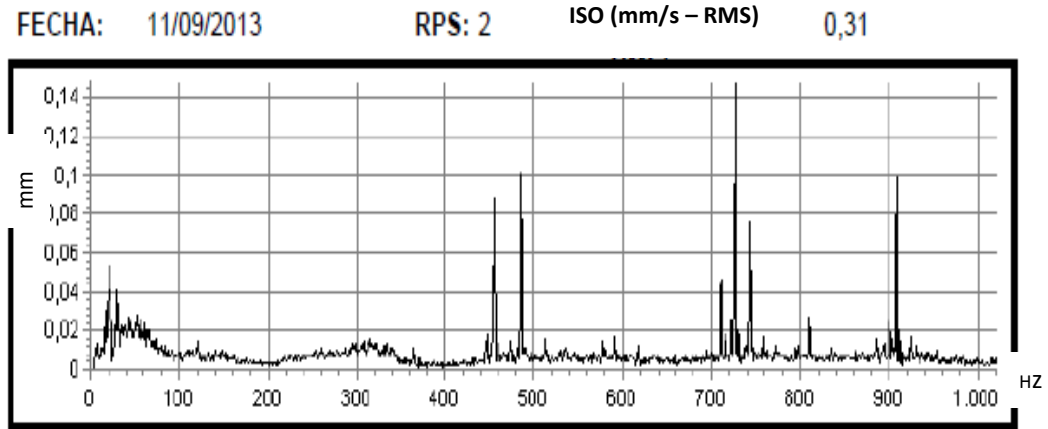
Fuente: Los autores

Gráfica 2. Vibraciones del torno mecánico punto: B Herramienta con ángulo de posición secundario 45°



Fuente: Los autores

Grafica 3. Vibraciones del torno mecánico punto: C Herramienta con ángulo de posición secundario 45°

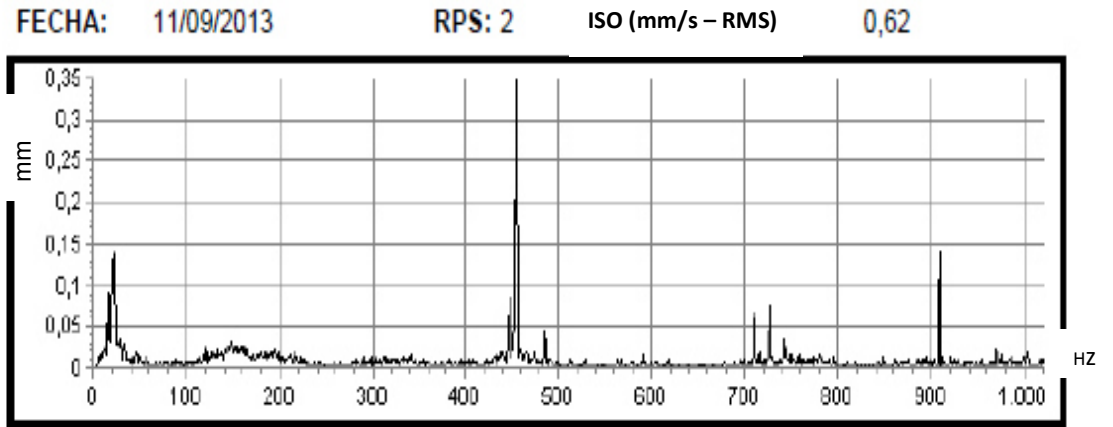


Fuente: Los autores

Luego de la medición de vibraciones en el punto A, B y C mientras se cilindraba con la herramienta de corte HSS con ángulo de posición primario de 45° se obtuvieron medidas de 0,28mm/s – RMS en los puntos A y B; 0,31mm/s – RMS en el punto C, Estos valores se encuentran en la categoría A (buena), para maquinas clase I según la tabla de rangos de severidad de vibraciones (Tabla 6.)

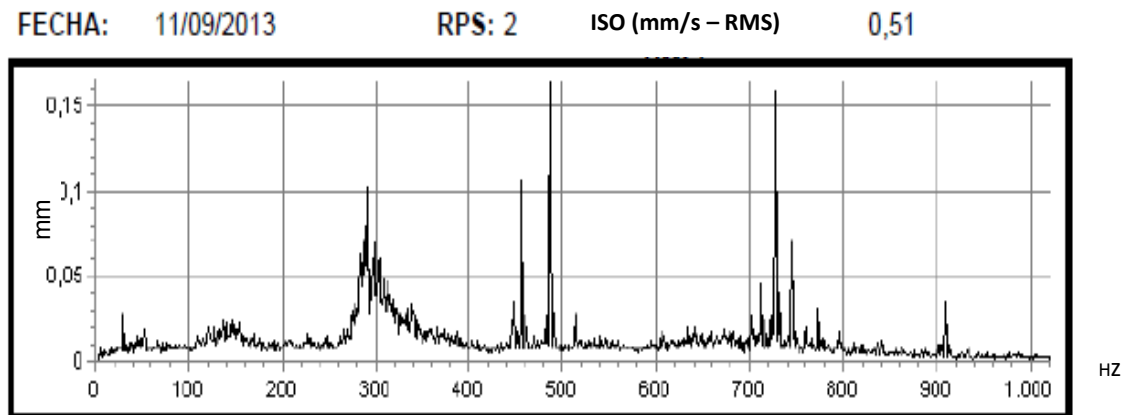
Las gráficas 4, 5 y 6 muestran el comportamiento espectral de las vibraciones medidas en el porta útiles del torno (ver figura 16) en el punto D (grafica 4.), punto E (Grafica 5.) y punto F (Grafica 6.) mientras se cilindraba la pieza con la herramienta de acero rápido con ángulo de posición primario de 45°, Estas condiciones en las placas presentan un aumento en las vibraciones, pero sigue estando en un rango aceptable, Por su parte sigue con deficiente calidad superficial.

Grafica 4. Vibraciones del torno mecánico punto: D Herramienta con ángulo de posición secundario 45°



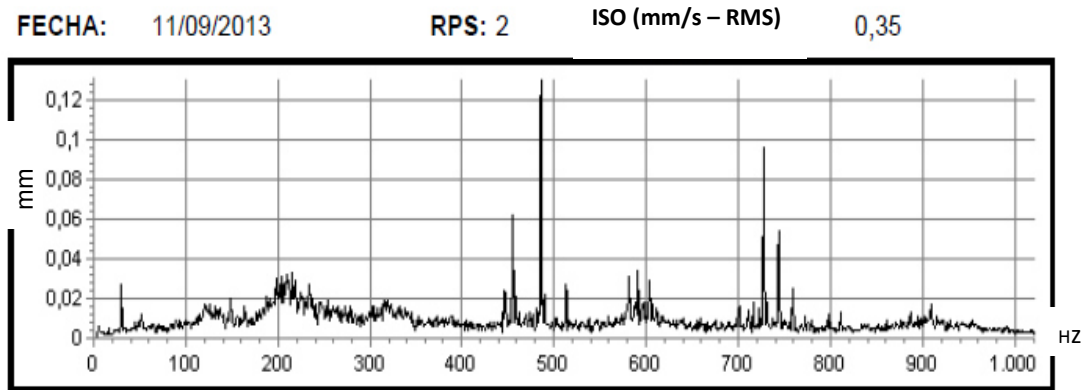
Fuente: Los autores

Grafica 5. Vibraciones del torno mecánico punto: E Herramienta con ángulo de posición secundario 45°



Fuente: Los autores

Grafica 6. Vibraciones del torno mecánico punto: F Herramienta con ángulo de posición secundario 45°

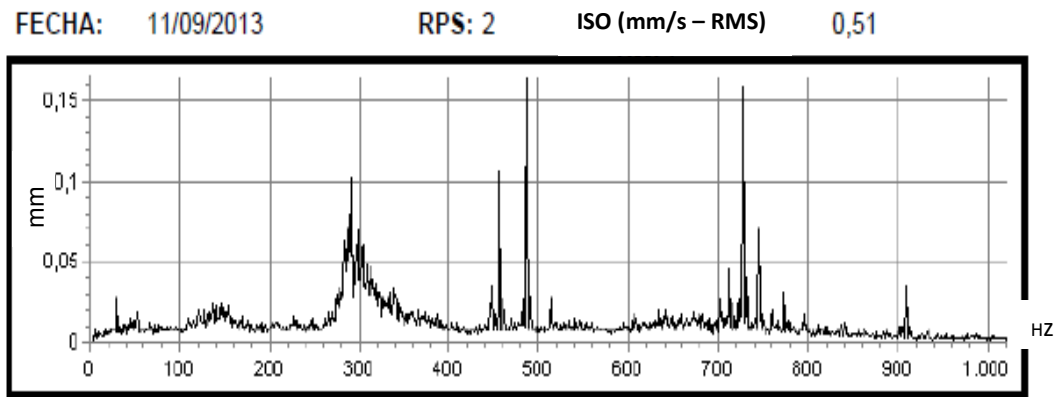


Fuente: Los autores

Luego de la medición de vibraciones en las placas del portaherramientas del torno Imoturn mientras se cilindaba con la herramienta de corte HSS con ángulo de posición primario de 45° se obtuvieron medidas de 0,62mm/s – RMS en el punto D, 0,51mm/s – RMS en el punto E y 0,35mm/s – RMS en el punto F, Estos valores a pesar de ser un poco más altos, aún se encuentran en la categoría A (buena), para maquinas clase I según la tabla de rangos de severidad de vibraciones (Tabla 6.)

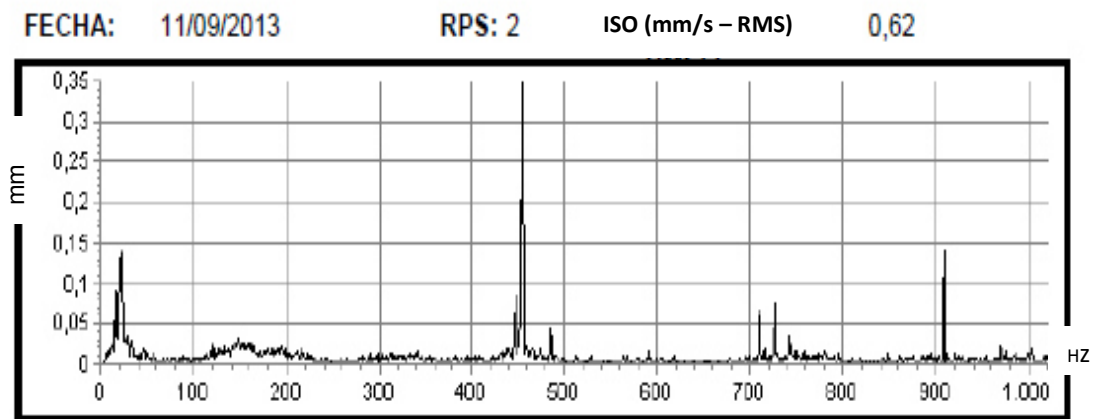
Las gráficas 7, 8 y 9 muestran el comportamiento espectral de las vibraciones medidas en el cabezal del torno (ver figura 15) en el punto A (grafica 7.), punto B (Grafica 8.), punto C (Grafica 9.) mientras se cilindaba la pieza con la herramienta de acero rápido con ángulo de posición primario de 90°, Estas condiciones presentan medianas vibraciones y una alta calidad superficial.

Grafica 7. Vibraciones del torno mecánico punto: A Herramienta con ángulo de posición secundario 0°



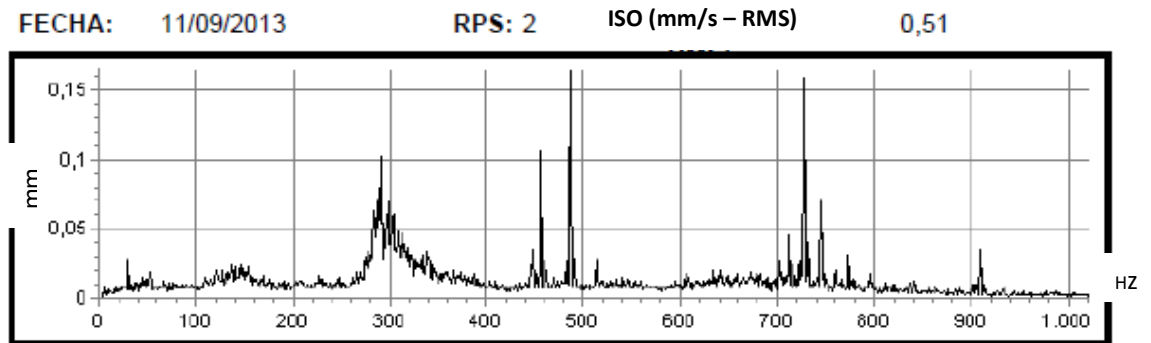
Fuente: Los autores

Grafica 8. Vibraciones del torno mecánico punto: B Herramienta con ángulo de posición secundario 0°



Fuente: Los autores

Grafica 9. Vibraciones del torno mecánico punto: C Herramienta con ángulo de posición secundario 0°

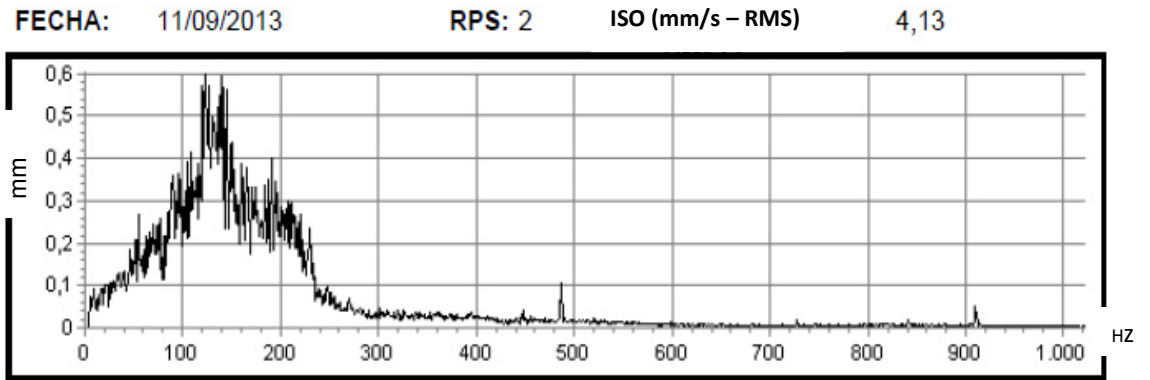


Fuente: Los autores

Luego de la medición de vibraciones en el punto A, B y C del cabezal del torno mientras se cilindaba con la herramienta de corte HSS con ángulo de posición primario 90° se obtuvieron medidas de 0,51mm/s – RMS en el punto A, 0,62 en el punto B y 0,51mm/s – RMS en el punto C, Se observa un incremento en los valores de medición con respecto a los medidos en estos mismos puntos con la herramienta de acero rápido con ángulo de posición primario de 45°, sin embargo estos valores continúan siendo catalogados en el rango de la categoría A (buena), para maquinas clase I según la tabla de rangos de severidad de vibraciones (Tabla 6.).

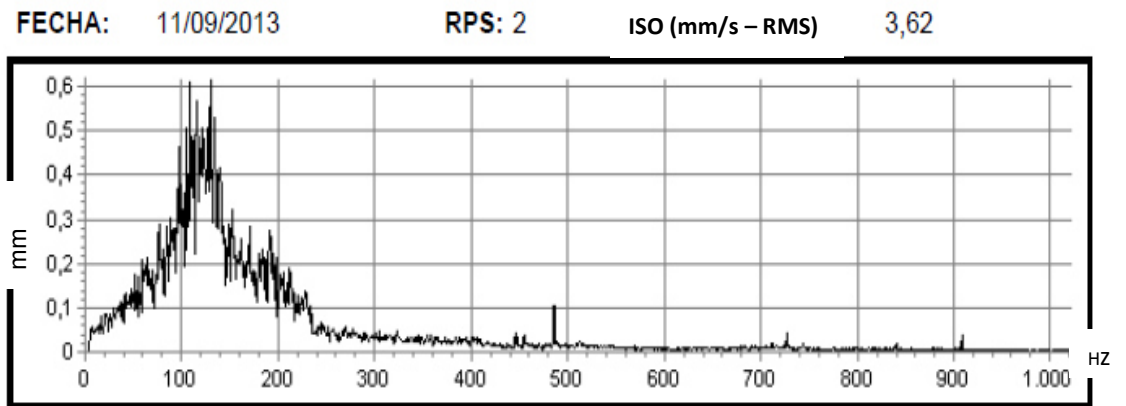
Las gráficas 10, 11 y 12 muestran el comportamiento espectral de las vibraciones medidas en el porta útiles del torno (ver figura 16) en el punto D (grafica 10.), en el punto E (Grafica 11.) y en el punto F (Grafica 12.) mientras se cilindaba la pieza con la herramienta de corte de acero rápido con ángulo de posición primario de 90°, Estas condiciones en las placas presentan un aumento alarmante en las vibraciones, Por su parte presenta una alta calidad superficial.

Grafica 10. Vibraciones del torno mecánico punto: D Herramienta con ángulo de posición secundario 0°



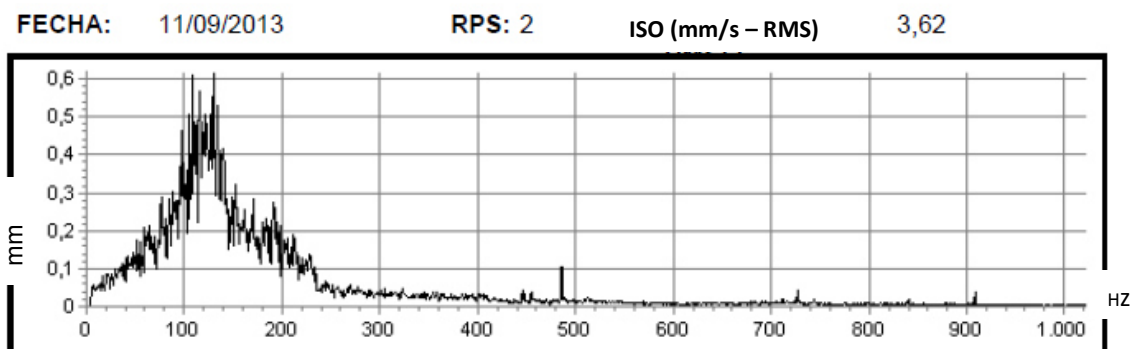
Fuente: Los autores

Grafica 11. Vibraciones del torno mecánico punto: E Herramienta con ángulo de posición secundario 0°



Fuente: Los autores

Grafica 12. Vibraciones del torno mecánico punto: F Herramienta con ángulo de posición secundario 0°



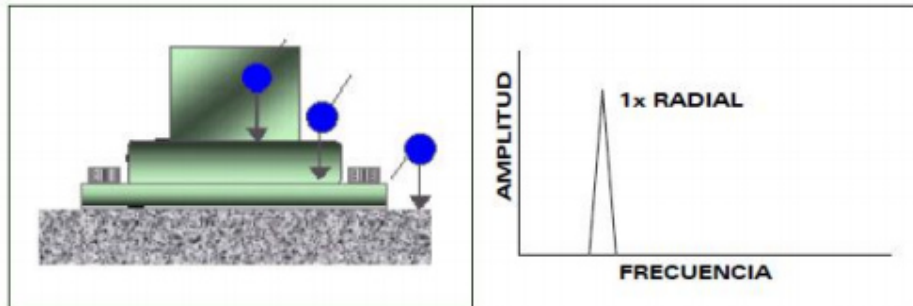
Fuente: Los autores

Al termino de realizar la medición de vibraciones en las placas del portaherramientas del torno Imoturn mientras se cilindaba con la herramienta de corte HSS con ángulo de posición secundario de 0° se obtuvieron medidas de 4,13mm/s – RMS en el punto D, 3,62mm/s – RMS en el punto E y 3,62mm/s – RMS en el punto F, Estos valores son elevados y al remitirse a la tabla correspondiente a la Norma ISO 2372 (Tabla 6.) indica que para maquinas clase I (<15Kw) como el torno Imoturn utilizado estas mediciones se encuentran en la categoría C (No satisfactoria), Lo que indica necesario planear una intervención para la reducción de estas vibraciones, Al analizar los espectros conseguidos en la medición de vibraciones en placas se observa que en los espectros existe levantamiento de piso con armónicos en dirección de la falla y altamente direccional en la dirección de sujeción, lo que indica una falla de holgura mecánica en sujeción o por fatiga estructural.

Teniendo en cuenta los espectros y rangos de severidad, y por medio de la inspección visual del torno y de las partes implicadas, el problema que se evidencia en el torno es la soltura estructural por sujeción que se refiere a un ablandamiento o desplazamiento del pie de la máquina, por holgura en los pernos de la base o por deterioro de los componentes de la sujeción. Se

realiza para corregir el problema, revisión del estado de desgaste de la estructura de soporte (presencia de fracturas) y verificación del torque de apriete de los sujetadores.

Figura 18. Espectro de vibración en placas



Fuente: A-MAQ S.A. - Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico - Enero 2005.

El espectro obtenido en el análisis de vibraciones realizadas en las placas del portaherramientas del torno Imoturn presenta vibración a 1X RPS en la base de la máquina con desfase a 180 grados entre los elementos sujetos en el anclaje. Por esto se revisa el estado de fatiga del pie de máquina sin encontrar signos de rajaduras, ni de corrosión avanzada que pudiera influir en el fenómeno de vibración. Luego se verifica el estado de los sujetadores y el estado de la cimentación, encontrando la cimentación en buen estado y los sujetadores un poco corroídos y con necesidad de reapriete del preñse.

6.3.2 Análisis de rugosidad

Luego de realizar las mediciones de vibraciones durante el cilindrado, se realizan mediciones de rugosidad a las piezas de acero 1045 para constatar la calidad superficial de las piezas cilindradas y lograr clasificarlas según los estándares de rugosidad. Las imperfecciones superficiales se pueden dar producto de las huellas de la herramienta empleada para fabricar la pieza, causadas por los desajustes de las máquinas-herramienta utilizadas en el mecanizado en ocasiones donde ambos defectos superficiales aparecen conjuntamente. Para esta investigación se evidencian huellas de la

herramienta de corte de acero rápido por lo que está enfocado en la rugosidad superficial de las piezas.

6.3.2.1 Rugosidad Superficial

Al realizar los procesos de torneado en las piezas de acero 1045 en el torno Imoturn se tienen implicaciones económicas por lo tanto, Es importante que esta investigación conlleve a la obtención de piezas con requerimientos mínimos de calidad que tienen la suficiente calidad para que la pieza cumpla una función aceptable y por su parte las piezas finales logren tener una calidad máxima con una compatibilidad acorde al costo de la pieza, por tanto, no debe ser mayor del necesario. Para la certificación de que las piezas finales torneadas en el torno Imoturn y cilindradas con la herramienta de corte de acero rápido se encuentran con calidad superficial buena, se hace necesario examinar la regularidad de la superficie y comprobar que la rugosidad de la pieza se encuentra en un rango tolerable.

Para la realización de las mediciones de vibración se utiliza un rugosímetro MEDTEC 321A que inicialmente se calibra en 0 para obtener valores que sirven para medir la rugosidad como lo son la dirección de altura, dirección transversal, forma de las irregularidades.

Información técnica:

- Display de 58 mm
- Capacidad de medición de 0 a 1000microns
- Lectura 1 micra.

Para este caso se empleó la dirección de las alturas porque son estos tipos de parámetros los que tienen relación directa con las tolerancias dimensionales que se necesita calcular para las piezas cilindradas

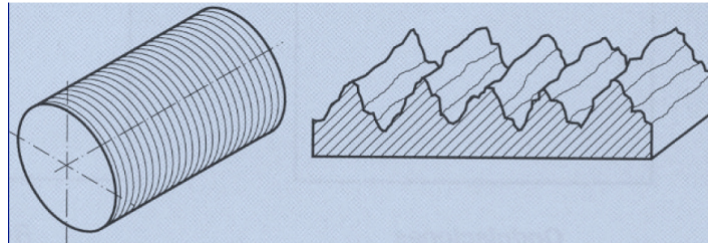
Figura 19. Rugosímetro MEDTEC



Fuente: RUBIO, Higinio. Rugosidades superficiales: Universidad Carlos III de Madrid. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica de Madrid.

El parámetro de medida de la rugosidad más común es la rugosidad media R_a (desviación media aritmética del perfil). En la mayoría de los casos la superficie sin mecanizar de la pieza presenta rugosidades sin ninguna dirección preferente, esto depende del proceso de fabricación de la pieza inicialmente. El proceso de mecanizado además de reducir la rugosidad introduce estrías a la superficie de la pieza dependiendo de la dirección de arranque de la viruta. En la siguiente imagen se muestra la dirección en la que van las estrías.

Figura 20. Dirección de estrias en rugosidad.

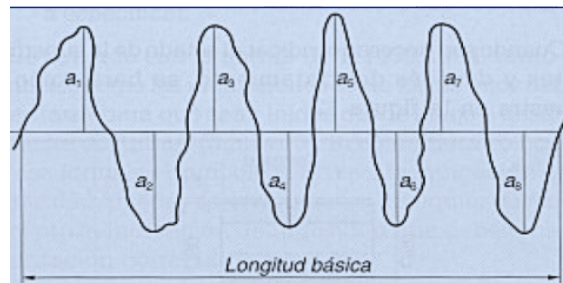


Fuente: RUBIO, Higinio. Rugosidades superficiales: Universidad Carlos III de Madrid. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica de Madrid.

Se conoce como R_a la medida aritmética de la desviación de la curva del perfil con respecto a la línea media de la longitud básica (distancia de referencia donde se medirá la longitud superficial).

La línea media se mide por procedimientos matemáticos (como el método de los mínimos cuadrados). Para la imagen a continuación mostrada, siendo a_n las alturas de las crestas o las profundidades de los valles.

Figura 21. Gráfico de rugosidad.



Fuente: RUBIO, Higinio. Rugosidades superficiales: Universidad Carlos III de Madrid. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica de Madrid.

La rugosidad R_a se entiende como:

$$Ra = \frac{|a1|+|a2|+\dots+|an|}{n} \quad \text{Ecuacion 4.}$$

Para el análisis de esta investigación se toma en cuenta la tabla de valores de clasificación de rugosidades R_a . Los valores de rugosidad R_a se clasifican en una serie de intervalos N_x (siendo x un número del 1 al 12). Los tipos de rugosidad se agrupan de la siguiente manera:

- **N1-N4:** la superficie es espectacular.
- **N5-N6:** las marcas de mecanizado no se aprecian ni con el tacto ni con la vista pero si con una lupa.
- **N7-N8:** las marcas del mecanizado se aprecian con la vista pero no con el tacto.
- **N9-N12:** la marca del mecanizado se aprecian con la vista y el tacto.







Tabla 7. Clasificación de rugosidades

Valores de rugosidad R_a		Números de grados de rugosidad
μm	$\mu\text{pulgadas}$	
50	2000	N 12
25	1000	N 11
12.5	500	N 10
6.3	250	N 9
3.2	125	N 8
1.6	63	N 7
0.8	32	N 6
0.4	16	N 5
0.2	8	N 4
0.1	4	N 3
0.05	2	N 2
0.025	1	N 1

Fuente: Calidad Superficial: Rugosidad (2002-2003). Zaragoza, España.
Universidad de Zaragoza

Con base a la tabla de clasificación de rugosidades presentada (Tabla 7). Se clasificaron las piezas torneadas en el torno Imoturn con herramienta de acero rápido para tener información parametrizada del estado final de las piezas en cuanto a acabado superficial y constatar la calidad superficial visible con resultados de rugosidad. La clasificación de las piezas cilindradas se presenta en la siguiente tabla con su respectiva clase de rugosidad (Ver Tabla 8).

Tabla 8. Rugosidad en las piezas cilindradas

Pieza	Imagen	Clase de rugosidad	R _a (μm)
1		N8	3.2
2		N5	0.3
3		N4	0.2
4		N3	0.1
5		N8	3.1
6		N2	0.05

Fuente: Los autores

En la tabla anterior se observan las clases de rugosidad de cada una de las piezas maquinadas durante el desarrollo de la investigación en el torno Imoturn escogidas para su análisis, siendo la pieza número 6 la que obtuvo un mejor acabado superficial y por su parte la número 1 y la número 5 las que mayor clase de rugosidad obtuvieron, Siendo la número 3 y 4 también piezas con una rugosidad bastante favorable y la número 2 de un acabado aceptable pero con marcas que podrían ser apreciadas con lupa.

En todo este proceso de investigación se pudo obtener como información inicial que los parámetros de corte ideales para trabajar el acero 1045 destinado para el estudio son los valores de 105 rpm y 0,2mm/rev de avance, Además de los ángulos de la herramienta de corte (ángulo de incidencia y ángulo de ataque) de 8°, Pero a pesar de haber realizado el proceso de cilindrado con los parámetros obtenidos inicialmente no se lograba obtener resultados favorables, De esta manera se determinó como alternativa variar el avance, ángulo posición de la herramienta de acero rápido y las profundidades de corte, una a la vez y en intervalos pequeños hasta obtener resultados que se acercaran a los esperados. En la siguiente tabla (Tabla 9.) se muestran los resultados con los parámetros de corte más importantes del desarrollo de la investigación, resaltando los parámetros de la pieza que arroja los mejores resultados para futuros ensayos de cilindrado.

Tabla 9. Tabla general de resultados de las piezas cilindradas.

pieza	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Velocidad de giro (rev/min)	Profundidad de corte (mm)	Angulo de posición secundario (°)	Clase de rugosidad	R _a (μm)
1	12	0,028	105	0,5	45	N8	3.2
2	12	0,2	105	0,5	30	N5	0.3
3	12	0,2	105	0,4	0	N4	0.2
4	12	0,2	105	0,2	0	N3	0.1
5	12	0,028	105	0,5	45	N8	3.1
6	12	0,028	105	0,2	0	N2	0.05

Fuente: Los Autores

6.4 MODELACION DE LAS VIBRACIONES.

Durante este proceso de cilindrado se resolvió realizar medición de las vibraciones para diagnosticar en qué medida el fenómeno Chatter estaba influyendo en las pruebas realizadas. De esas mediciones, se concluye que la prueba que presenta más altas vibraciones con un valor de 4,13 mm/s es la de la pieza 6 realizada con herramienta de acero rápido con ángulo de posición secundario de 0° y tomada en las placas sujetadoras de la

herramienta de corte, al realizar las mediciones de rugosidad en esta pieza se obtuvo una rugosidad N2 que se refiere a $0,05\mu\text{m}$ aprox. Siendo esta pieza la de mejor calidad superficial. Al realizar el respectivo análisis de las pruebas se concluye que las piezas cilindradas con herramienta de acero con ángulo de posición secundario de 0° arrojan la calidad superficial deseada, a pesar de ser este caso donde el fenómeno de vibración se presente en un grado mayor. Se crea la necesidad de intervenir el equipo para realizar las correcciones que permitan bajar estos niveles de vibración, con los parámetros de corte recomendados.

Al revisar el torno, se determina con el cabezal porta piezas o mordazas, presenta buen ajuste de los respectivos rodamientos de soporte, basados en los bajos niveles de vibración, referentes a este componente. La otra parte a revisar es la torre porta herramienta, aquí, primero se tuvo el cuidado de asegurar que la cuchilla, al trabajar como viga en cantiléver, tuviera el brazo de palanca más corto posible, para brindar la rigidez máxima, aspecto básico para tener en control las vibraciones. También se revisó el apriete del carro auxiliar y su posicionado en 0 para realizar las operaciones de cilindrado. Se revisa la palanca de apriete del posicionado angular de la cuchilla y se encuentra que la misma no siempre aprieta correctamente lo que evidencia que en el plano inferior de apoyo existe desgaste, lo que requiere que el torno sea sometido a reparaciones para corregir este desperfecto. Debe anotarse que al estar floja la torre portaherramientas, por no ajustar apropiadamente la palanca de apriete, la cuchilla esta floja respecto a la materia prima en proceso de corte de viruta, esto crea las condiciones para que la amplitud de las vibraciones queden fuera de control y ello se refleje en un acabado superficial no uniforme o deficiente. Por esto se necesita realizar los correctivos, que recuperen la capacidad de la palanca de apriete para ajustar de manera rígida y segura la torre y la cuchilla de corte pueda quedar debidamente soportada, dado que la misma trabaja en cantiléver.

Para realizar una inspección de los elementos que posiblemente estén ocasionando altas vibraciones en el porta útiles del torno mecánico, se realiza

desmontaje de los elementos de la placa de la torreta porta herramientas (Ver punto D figura 16). A continuación se evidencia en detalle lo observado en el desmontaje de este punto del porta útiles.

Figura 22. Desmontaje palanca del porta útil



Fuente: Los autores

En la imagen anterior se observa el mecanismo de la palanca que tiene una ranura como guía y como freno uno de los tornillos de sujeción de la misma, luego de retirar los elementos de la palanca se retira la carcasa del portaútiles y sus elementos internos.

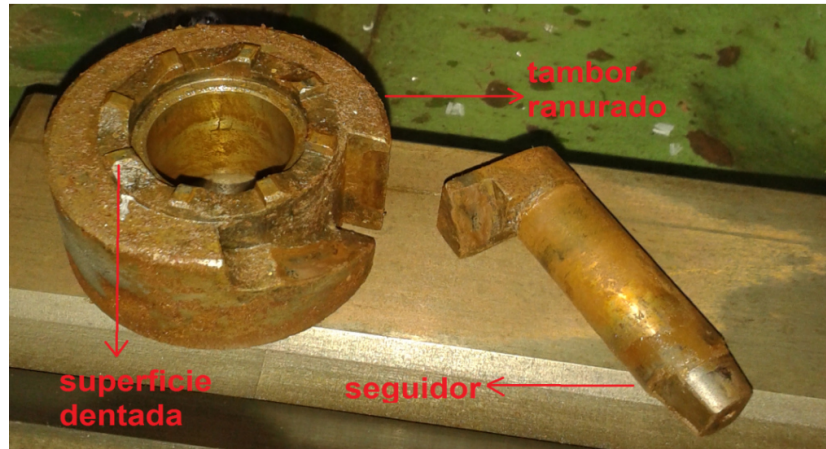
Figura 23. Desmontaje carcasa porta útil



Fuente: Los autores

Al realizar el desmontaje de los elementos internos de la carcasa del porta útil se evidencia el mecanismo interno que permite realizar movimientos angulares a la herramienta de corte.

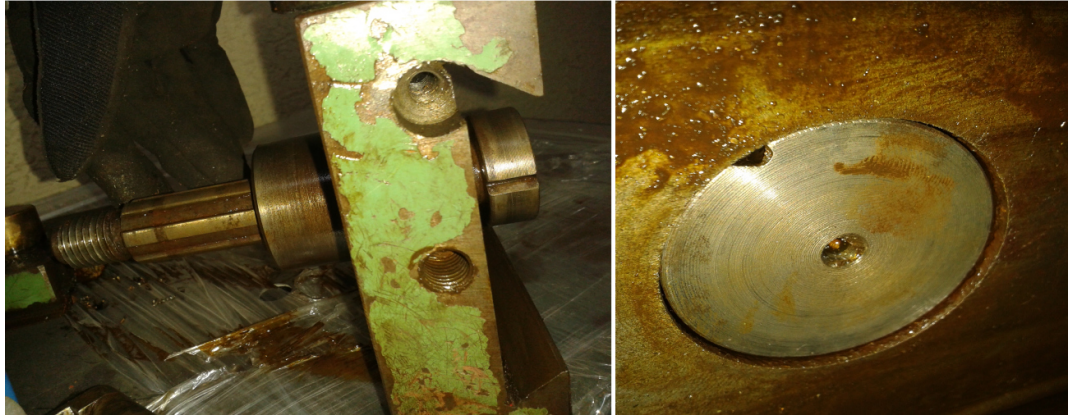
Figura 24. Mecanismo de leva de porta útil



Fuente: Los autores

El mecanismo encontrado en la parte interna de la carcasa del portaherramientas corresponde a un mecanismo de leva de tambor, donde la pista del seguidor se encuentra labrada alrededor del tambor. Se realiza limpieza e inspección de todas las piezas y se encuentran en buen estado, por su parte con estas piezas desmontadas se observa que el eje de mando principal tiene juego axial, por lo que se decide realizar desmontaje de la placa del carro orientable (Ver punto E figura 16).

Figura 25. Desmontaje placa del carro orientable



Fuente: Los autores

Figura 26. Implementación de arandela de bronce

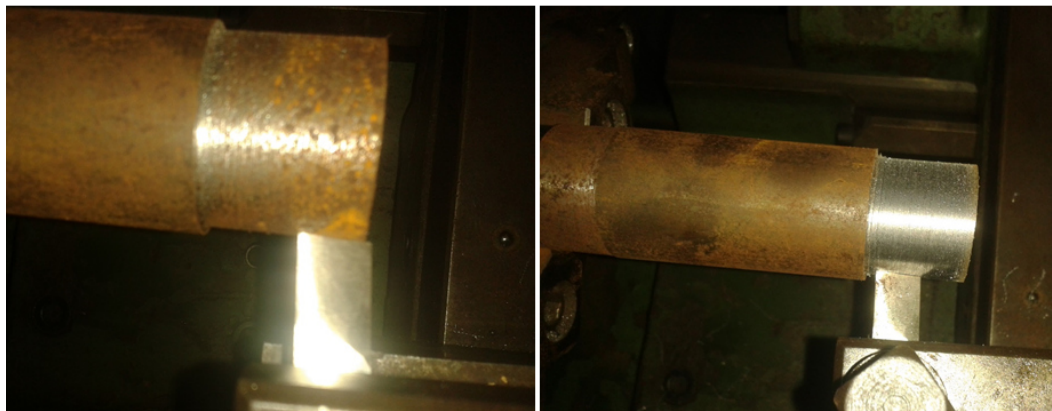


Fuente: Los autores

Luego de desmontar la placa del carro orientable se decide implementar una arandela de bronce que aporte altura y que ayude a evitar el juego axial presentado en el eje de mando, seguidamente se realiza el montaje de la placa del carro orientable y la torreta portaherramientas, por ultimo a modo de

prueba se realizan varios intentos para comprobar que la torre se aprieta correctamente para realizar los cilindrados. Para esta comprobación se realiza un cilindrado con los parámetros de la pieza número 6 (Ver tabla 9) por ser la que nos arrojó mejores resultados para observar la reducción de vibraciones y permanencia de calidad superficial obtenida luego del ajuste de la torre porta herramienta.

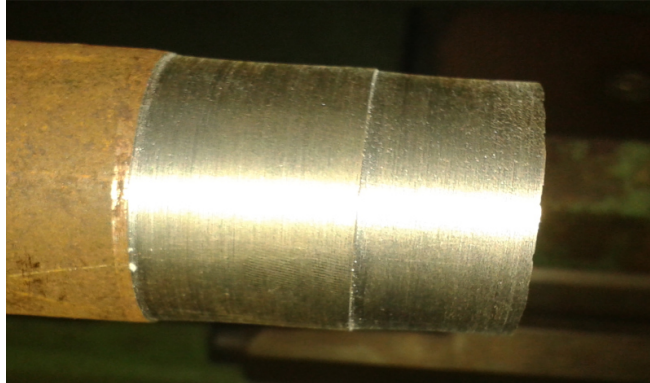
Figura 27. Cilindrado de prueba final parámetros de la pieza 6



Fuente: Los autores

Se decide realizar una prueba de los parámetros escogidos utilizando los mismos parámetros de corte de la pieza número 6, pero con la herramienta de corte con ángulo de posición secundario 30° aproximadamente, donde se logra observar un acabado de menor calidad que el obtenido con la herramienta de corte posicionada en 0° de ángulo de posición secundario y a su vez presencia de humo que indica concentración de altas temperaturas que ocasionan mayor desgaste e incluso quemado del filo de la herramienta de corte.

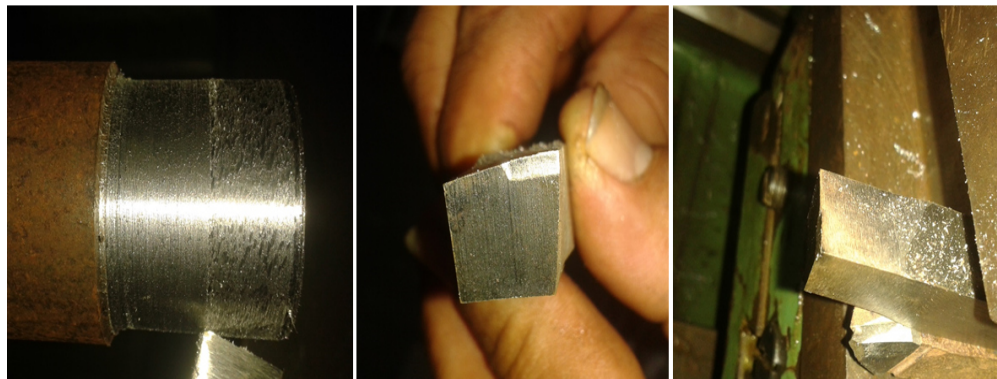
Figura 28. Cilindrado de prueba final pieza 6 ángulo de posición inclinado



Fuente: Los autores

Por último se realiza una prueba de los parámetros escogidos utilizando los mismos parámetros de corte de la pieza número 6, pero esta vez aumentando la velocidad de corte a 500 rev/min, debido a la presunción de que a mayor velocidad se podría obtener mejor calidad superficial o comprobar la validez de la velocidad escogida en esta investigación. En la prueba se observa lo siguiente:

Figura 29. Cilindrado de prueba final pieza 6 con 500 rev/min

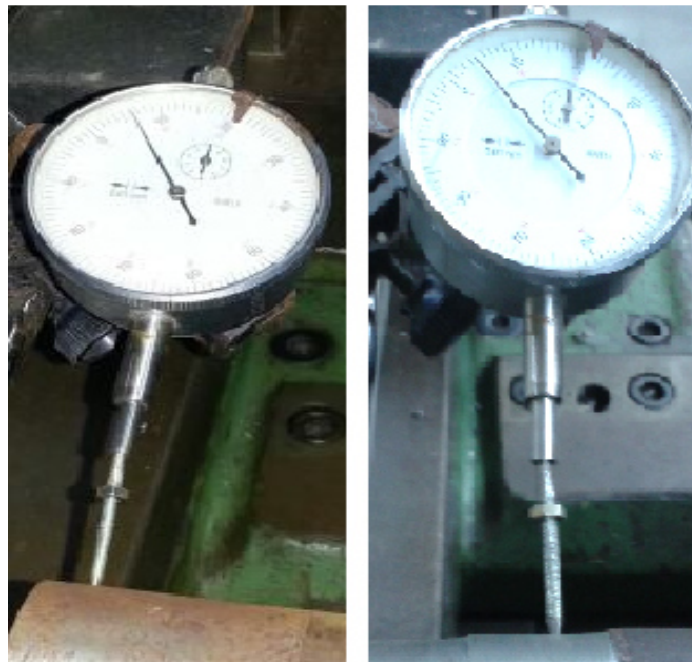


Fuente: Los autores

En esta prueba realizada con 500 rev/min se evidencia una calidad superficial deficiente y un daño significativo en el filo de la cuchilla de corte que confirman la efectividad de los parámetros encontrados por medio de esta investigación.

Para comprobar luego de la investigación que la intervención realizada en el porta herramientas del torno logró reducir las vibraciones y por consiguiente mejorar la calidad de las piezas maquinadas, se decide realizar una última medición de rugosidad, comprobando la mejor pieza (pieza 6) antes y después del ajuste de los elementos de la torre porta herramientas.

Figura 30. Medición de rugosidad de la pieza 6 antes y después de la intervención del torno.



Fuente: Los autores

Al realizar las mediciones de rugosidad con un rugosímetro marca Win, con sensibilidad de una décima de micra, calificado para esta toma de

mediciones, donde se esperan valores a medir entre cuatro y cien micras. Por ser un equipo de medición de rugosidad, diferente al usado anteriormente, se decide realizar medición a la pieza 6 cilindrada antes de la intervención del torno y a la pieza con parámetros iguales a los de la pieza 6 realizada como prueba final luego de la intervención, todo esto para fines comparativos, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 10. Tabla comparativa de la pieza con mejor calidad superficial antes y después de la intervención

Pieza 6	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Velocidad de giro (rev/min)	Profundidad de corte (mm)	Angulo de posición secundario (°)	Clase de rugosidad	R_a(μm)
antes	12	0,028	105	0,2	0	N2	0.06
después	12	0,028	105	0,2	0	N1	0.04

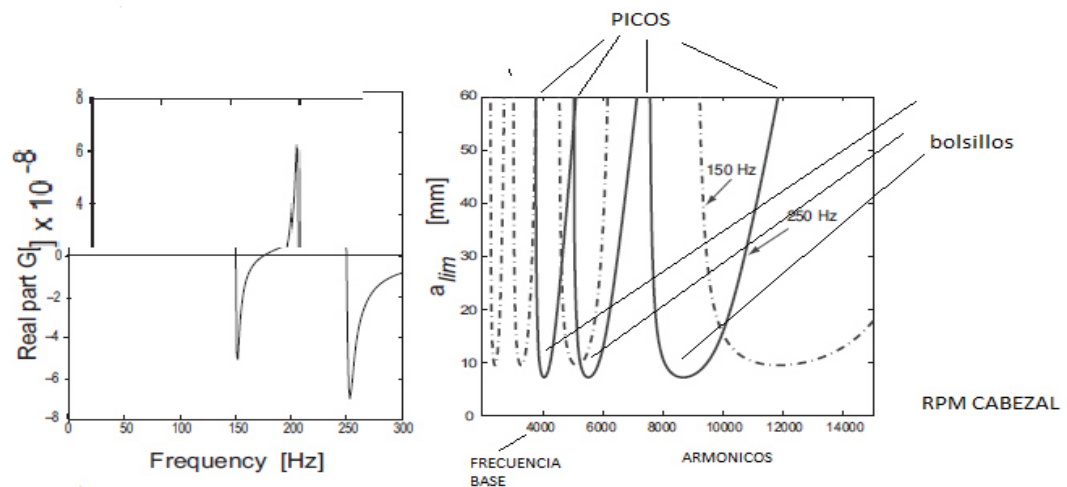
Fuente: Los autores

De la medición de rugosidad final se obtiene una mejora en la calidad superficial de la pieza con los mismos parámetros de corte de la pieza 6 cilindrada después de la intervención en la torre porta herramientas, se evidencia una mejora en la altura de la rugosidad de la pieza al disminuir la altura de la misma, además se observa reducción de las vibraciones debido al correcto apriete de la torreta, que es comprobado a nivel auditivo y mediante la prueba de rugosidad realizada, por su parte se recomienda tener en cuenta que la opción más evidente relacionada con los altos niveles de

vibración, es el efecto de operar en valores cercanos a la frecuencia natural o en alguno de los armónicos de la máquina – herramienta.

Por lo anterior, se plantea un futuro proyecto de grado, que realice análisis de vibraciones naturales del torno Imoturn, para determinar el llamado gráfico de bolsillo, como el mostrado en la figura 30. Al tener un gráfico de este tipo, vía experimental o combinación experimental – analítico computacional, se pueden identificar valores de velocidad para operación en valle o bolsillos, en donde se controlan los niveles de vibración al valor mínimo, evitando operar en zonas de picos de la onda de vibración, donde las vibraciones auto excitadas son altas e influirán negativamente en la calidad superficial, todo esto teniendo en cuenta variables importantes como el estudio de concentración de temperaturas en la herramienta de corte y la calidad del acero rápido utilizado en la herramienta de corte que permita optimizar el proceso de torneado.

Figura 31. Perfil de vibraciones de un torno.



Fuente: Yusuf Altintas Manufacturing automation - metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design 2012. Página 145.

CONCLUSIONES

Con el proyecto realizado en el torno del laboratorio de procesos industriales II de la Universidad Autónoma del Caribe se logra cumplir con los objetivos planteados, los cuales eran analizar el comportamiento de un proceso de torneado al momento de presentarse el fenómeno Chatter, el cual consiste en vibraciones que se presentan en este caso en la herramienta de corte que afectan la calidad final de la pieza, dándoles un acabado superficial con un porcentaje de rugosidad no deseada.

Las vibraciones fueron ocasionadas en el ángulo de posición de la herramienta de corte debido a dos factores muy importantes los cuales le dieron paso al fenómeno Chatter. Al momento de entrar en contacto la herramienta con la pieza no generaba la rigidez suficiente como para que la herramienta entrara y cortara como estaba diseñada para hacerlo. Sin embargo se hizo todo lo posible para reducir esas vibraciones, buscándole más rigidez a la herramienta de corte, sin embargo se logra establecer que cuando el ángulo de posición secundario es 0° se obtiene un mejor acabado, donde el Chatter resulta no ser un problema para lograr una superficie con una rugosidad superficial buena.

Los factores que afectaron a la herramienta de corte fueron los siguientes:

Los tornillos donde se posiciona la herramienta de corte son muy grandes para la dimensión de la herramienta utilizada y están hecho para herramientas de corte con una geometría mucho más grande que la que se trabajó en este proyecto haciendo imposible que el ajuste adecuado y la rigidez necesaria para que entrara a cortar como era necesario.

Debido a que los tornillos no daban para asegurar la herramienta de corte se hizo necesario ponerle otra herramienta y una placa de metal para lograr darle la altura necesaria para que los tornillos logaran apretar la herramienta que iba a entrar en contacto con el material.

Después de analizar y lograr el ángulo de posicionamiento de la herramienta de corte simplemente se procedió a realizar el proceso de torneado para encontrar los parámetros adecuados los cuales lograrán un excelente acabado superficial y una notoria reducción de vibración por medio del desmontaje y revisión exhaustiva de los elementos internos de la placa portaherramientas y la placa del carro orientable, análisis que arrojó como resultado un juego axial considerable en el eje de mando guiado por la palanca de giro que afectaba el apriete correcto de la herramienta de corte al momento de realizar el cilindrado, se implementó una arandela de bronce que aportó la altura requerida que corrigiera el juego axial presentado, aportando un correcto funcionamiento de los elementos de sujeción de la herramienta de corte, siendo este el punto crítico de vibración durante el proceso de cilindrado.

Se comprobó el mejoramiento de la calidad superficial de la pieza debido a la intervención de la torreta porta herramientas, realizando una prueba de rugosidad superficial que arrojó para la pieza antes de la intervención un resultado de 0.06 micras de rugosidad y para la pieza cilindrada luego de la intervención un resultado de 0.04 micras, lo que demostró la mejora de las vibraciones y calidad superficial durante el cilindrado de piezas en el torno.

RECOMENDACIONES

Por medio de este proyecto se logró concluir varios aspectos importantes a la hora de tomar decisiones y de estipular parámetros para el cilindrado de piezas en el torno mecánico, Esta investigación permite realizar dos recomendaciones importantes para el mecanizado.

El ángulo de posicionamiento de la herramienta es fundamental para el proceso de torneado el cual reduce la aparición de las vibraciones logrando el acabado superficial necesario para tener una pieza presentable. Asegurarse que la herramienta este totalmente rígida para que al momento de entrar en contacto con la pieza no se descoloque y genere vibraciones. En lo posible no ponerle objetos que la hagan tener mayor altura para alcanzar el ajuste ya que esto ocasiona inestabilidad dándole paso a las vibraciones, Por su parte implementar elementos de caucho que aporten altura a la herramienta de corte y a su vez absorba las vibraciones generadas en el proceso

Asegurarse que los parámetros de corte utilizados son los adecuados para el material a utilizar ya que todos los materiales tienen parámetros de cortes totalmente diferentes de acuerdo a su dureza y al elegir parámetros equivocados se puede dañar el material y para efectos económicos no es recomendable realizar diversas pruebas sin previa documentación, luego de tener la certeza de que se obtienen los parámetros de corte adecuados para el proceso de cilindrado a efectuar se procede a elegir los que ayuden a obtener un excelente acabado superficial y una rugosidad aceptable, Teniendo en cuenta que estos parámetros no excedan los valores de vibraciones según la Norma ISO 2372.

Se recomienda tener en cuenta para estudios futuros evaluar la influencia de la calidad de la herramienta de corte de acero rápido en el acabado superficial y la incidencia de la temperatura en las herramientas de corte de acero rápido durante el cilindrado de piezas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A-MAQ S.A. - Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico - Enero 2005.
- [2] BENARDOS, P.G., Vosniakos, G.C. Predictingsurface roughness in machining: a review. International Journal of Machine Tools &Manufacture 43 (2003).833p.
- [3] CARBAJAL, Yaazer. Metrología avanzada: Acumulación de tolerancias. En: Curso de metrología: Instituto Tecnológico de Chihuahua de México (Dic-2011). 26p.
- [4] CHEN C. Tsao Y. A stability analysis of turning atailstock supported flexible work-piece. International Journal of Machine Tools &Manufacture 46 (2006) 18p.
- [5] GARCÍA-BERRO, Myrian. Tendencias tecnológicas a medio y largo plazo en el diseño y la producción industrial. En: Departamento de Proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico. Fundación ASCAMM de Barcelona. (Mar 2005). 12p.
- [6] HERNÁNDEZ, Luis. Líquidos refrigerantes ¿futuro? En: Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya". Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica de Cuba.(Nov 2001). 5p.
- [7] IZARO. Una batalla ganada contra las vibraciones. En: revista tecnológica izaromanufacturingtechnology N°201 (Dic. 2010).
- [8] KALLEWAARD ECHEVERRY, V (2009) Estudio del fenómeno de retemblado en los procesos de mecanizado con arranque de viruta en elementos esbeltos: Tesis, (Mayo 2009).
- [9] KALPAJIAN& S. Fundamentos de maquinado. En: Manufactura, ingeniería y tecnología. Pearson: Quinta edición. México 2008. ISBN: 978-970-26-10267
- [10] KRONENBERG, Max, Grundzuge Der Zerspanungslehre, 1954

- [11] MARTÍNEZ, Cesar. Optimización del proceso de tallado por generación mediante sistema MQL. En: Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Mecánica de España(Jun 2010). 12p.
- [12] MAYORGA, José. Acabados superficiales: normas de acabado y simbología. En: Universidad de castilla-la mancha de Madrid(Oct 2010). 82p
- [13] MERCHANT, M. Mechanics of the metal cutting process II: plasticity conditions in ortogonal cutting. En: journal of appliedphysics. 267p.
- [14] MINDEL, Valerie. Herramientas para refrigerantes. En: Revista científica Sanvikcoromant de Suecia. (Ene-Jun 2009). 28p.
- [15] MITSUBISHI.Refrigeracion en el mecanizado. En: revista Info técnica HyTMetals de Argentina N° 63.(Dic-Ene 2011).
- [16] NODREAU, Robert; LORENZ Meler, Enrique. El torno y la fresadora. Versión de 4ta edición francesa. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona
- [17] OLGAC, N., Hosek, M. A new perspective and analysis for regenerative machine tool chatter. International Journal of Machine Tools & Manufacture (1998).783p.
- [18] PADILLA MONTES, Daniel. Validación de un fluido de corte para máquinas-herramienta. Tesis presentada para optar por el grado de Máster en procesos de Manufactura y Reacondicionamiento de piezas. ISPJAE, La Habana, Cuba (Feb 2008).
- [19] PIJSPANEN, V. Mecánica del corte: Modelo de pijspanen. Mexico (Jun 2009).
- [20] POVEDA, Gabriel. La Ingeniería en Colombia. En: Revista Digital Lámpsakos No. 1, (Abr 2009). 35p.
- [21] ROJAS M, Fabio. Simulador de procesos de corte-simmecca v 2.0. En: Universidad de los andes de Bogotá, Colombia (Nov. 2010). 14p

[22] RUBIO, Higinio. Rugosidades superficiales: Universidad Carlos III de Madrid. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica de Madrid.

[23] STEWART C. Black, Vic Chiles et al. Principios de Ingeniería de Manufactura, Compañía Editorial Mexicana.

[24] STRANDBERG, Yvonne. (2011). Manteniendo la presión. En: revista de negocios y tecnología de AB SandvikCoromant: MetalworkingWorld de Suecia.No. 1, (Ene-Abr 2008). 18p.

[25] SURESH, k.r, VENKATESWARA r., DESHMUKHS, g.A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model.International Journal of Machine Tools & Manufacture N°42 (2002). 675p.

[26] TOH, C.K. Vibration analysis in high speed rough and finish milling hardened steel. Journal of Sound and Vibration N°278 (2004). 101p.