

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**



**MAESTRÍA EN MECÁNICA, MENCIÓN MANUFACTURA**  
**COHORTE 2019**

**TEMA:**

---

**“EVALUACIÓN DE COSTOS DE MECANIZADO POR ARRANQUE DE  
VIRUTA PARA ACEROS INOXIDABLES ASTM A743 GRADO CA6-NM Y  
SOLDADURA ER312 Y ER410 PARA EL CIRT-CELEC EP”**

---

Trabajo de titulación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica, Mención  
Manufactura

**Autor:** Ing. Mayra Isamar Salazar Freire

**Director:** Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg

**Ambato- Ecuador**

**2021**

## **APROBACION DEL TUTOR**

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación presentado, previo a la obtención del título de Magister en Mecánica, Mención Manufactura. Con el tema: "EVALUACIÓN DE COSTOS DE MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA PARA ACEROS INOXIDABLES ASTM A743 GRADO CA6-NM Y SOLDADURA ER312 Y ER410 PARA EL CIRT-CELEC EP", elaborado por la Ingeniera Mayra Isamar Salazar Freire con cédula de identidad C.I. 1803497666, Maestrante de la MAESTRÍA EN MECÁNICA, MENCIÓN MANUFACTURA COHORTE 2019 de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

Certifico:

- Que el presente Trabajo de Titulación es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes
- Está concluido en su totalidad.



---

Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda Mg.

CC. 1802487791

**TUTOR**

## AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “EVALUACIÓN DE COSTOS DE MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA PARA ACEROS INOXIDABLES ASTM A743 GRADO CA6-NM Y SOLDADURA ER312 Y ER410 PARA EL CIRT-CELEC EP”, le corresponde exclusivamente a la: Ing. Mayra Isamar Salazar Freire, Autora bajo la dirección del Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda Mg., Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



---

Ing. Mayra Isamar Salazar Freire

CC. 1803497666

**AUTORA**



---

Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda Mg.

CC. 1802487791

**TUTOR**

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



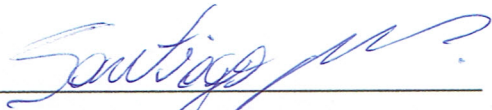
---

Ing. Mayra Isamar Salazar Freire

CC. 1803497666

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

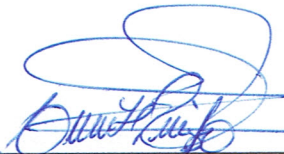
A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación presidido por el Ingeniero Wilson Santiago Medina Robalino, Mg, e integrado por los señores: Ing. Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg. Ing. Cristian Fabián Pérez Salinas, Mg, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: "EVALUACIÓN DE COSTOS DE MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA PARA ACEROS INOXIDABLES ASTM A743 GRADO CA6-NM Y SOLDADURA ER312 Y ER410 PARA EL CIRT-CELEC EP", elaborado y presentado por la Ing. Mayra Isamar Salazar Freire, para optar por el Grado Académico de Magíster en Mecánica, Mención Manufactura; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.  
Presidente del Tribunal



Ing. Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg.  
Miembro del Tribunal



Ing. Cristian Fabián Pérez Salinas, Mg.  
Miembro del Tribunal

## DEDICATORIA

*El presente trabajo de investigación está dedicado de manera especial a mis padres María y Vinicio, quienes siempre han estado junto a mí a lo largo de cada una de mis etapas académicas, brindándome su apoyo incondicional.*

*A mis hermanos Vinicio y Kevin que me han motivado para siempre salir adelante con sus palabras de apoyo.*

*A mi abuelito Hugo, a mis tíos y tías que siempre han estado demostrándome su apoyo infinito para poder culminar una etapa más.*

*Y a mis amigos que de una u otra manera siempre estuvieron brindándome su apoyo moral.*

## **AGRADECIMIENTO**

A la Unidad de Negocio CELEC EP-HIDROAGOYAN, de manera especial al Centro de Investigación y Reparación de Turbinas hidráulicas, a todo su personal, por siempre dar apertura y brindarme todo el apoyo y las facilidades necesarias y a su alcance para la realización de la presente investigación.

Al Ing. Santiago Cabrera, Tutor académico del trabajo de investigación, por su colaboración para la realización del presente trabajo.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACION DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xvi
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	xviii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xix
ABSTRACT .....	xx
CAPITULO 1.- MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos .....	1
1.2 Justificación .....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General .....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Hipótesis .....	4
1.5 Señalamiento de variables .....	4
1.5.1 Variable independiente.....	4
1.5.2 Variable dependiente.....	4
1.6 Fundamentación teórica .....	4
1.6.1 Aceros inoxidables .....	4
1.6.2 Clasificación de los aceros inoxidables .....	5
1.6.3 Aceros inoxidables martensíticos .....	5



1.6.4	Acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM.....	6
1.6.5	Proceso de recuperación de rodets de turbinas hidráulicas .....	7
1.6.6	Proceso de soldadura.....	9
1.6.6.1	Equipo de soldadura.....	10
1.6.6.2	Material de aporte.....	11
1.6.7	Proceso de mecanizado .....	12
1.6.8	Mecanizado por arranque de viruta.....	12
1.6.8.1	Torneado.....	13
1.6.8.2	Fresado.....	14
1.6.9	Herramientas de corte.....	15
1.6.9.1	Insertos.....	15
1.6.9.2	Desgaste de la herramienta .....	18
1.6.10	Costos de procesos de mecanizado.....	18
1.6.10.1	Tiempo de producción.....	18
1.6.10.2	Costo de producción .....	19
1.6.10.3	Eficiencia económica.....	19
1.6.10.4	Selección de la velocidad de corte.....	20
1.7	Otros costos.....	20
1.7.1	Costos de mano de obra.....	20
CAPITULO II.- METODOLOGÍA .....		21
2.1	Materiales.....	21
2.2	Metodología.....	23
2.2.1	Análisis y discusión de los resultados.....	23
2.2.2	Procedimiento a seguir en la evaluación de costos.....	25
2.2.3	Procedimiento a seguir en la evaluación de desgastes del flanco.....	26
2.2.4	Procedimiento metodológico de la evaluación del tiempo .....	27
2.2.5	Población .....	29

2.2.6	Muestra .....	29
2.2.7	Operacionalización de variables .....	29
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		31
3.1	Características del metal base .....	31
3.2	Características del material de aporte .....	32
3.3	Selección de parámetros de corte para torneado.....	36
3.3.1	Acero Inoxidable A743.....	36
3.3.2	Acero Inoxidable A743 con soldadura ER410 .....	37
3.3.3	Acero Inoxidable A743 con soldadura ER312 .....	37
3.4	Selección de parámetros de corte para fresado .....	37
3.4.1	Fresado en Acero Inoxidable A743 .....	37
3.4.2	Fresado en Acero Inoxidable A743 con soldadura ER410.....	38
3.4.3	Fresado en Acero Inoxidable A743 con soldadura ER312.....	38
3.5	Comparación del resultado teóricos del Número de Revoluciones con el Tiempo Teórico durante el torneado. ....	38
3.5.1	Determinación de los números de revoluciones teóricos del torneado.....	38
3.5.2	Determinación de los tiempos teóricos del torneado .....	39
3.5.3	Comparación de resultados del torneado .....	40
3.5.3.1	Número de Revoluciones del Torneado.....	40
3.5.3.2	Tiempos de torneado.....	41
3.6	Comparación del resultado teóricos del Número de Revoluciones con el Tiempo Teórico durante el fresado .....	42
3.6.1	Determinación de los números de revoluciones teóricos durante el fresado.....	42
3.6.2	Determinación de los tiempos teóricos del fresado .....	43
3.6.3	Comparación de resultados del fresado .....	44

3.6.3.1	Número de Revoluciones del fresado .....	44
3.6.3.2	Tiempos durante el fresado.....	45
3.7	Recolección de Variables .....	47
3.8	Procesamiento y Análisis.....	54
3.8.1	Desgaste y vida útil de las herramientas.....	54
3.8.2	Mecanismos de desgaste.....	55
3.8.3	Estudio de Taylor.....	56
3.8.3.1	Aplicación de la ecuación de Taylor durante el torneado.....	57
3.8.3.2	Aplicación de la ecuación de Taylor durante el torneado.....	57
3.8.3.3	Aplicación de la ecuación de Taylor durante el fresado.....	61
3.8.3.4	Tiempo Vs desgaste de la herramienta .....	66
3.9	Verificación de Hipótesis .....	74
3.9.1	Planteamiento de la hipótesis.....	75
3.9.2	Regla de decisión.....	75
CAPÍTULO IV.- DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....		82
4.1	Descripción .....	82
4.1.1	Datos informativos .....	82
4.1.2	Justificación.....	82
4.2	Objetivos .....	83
4.2.1	Objetivo General.....	83
4.2.2	Objetivo Específicos.....	83
4.3	Desarrollo.....	83
4.3.1	Procedimiento de empleo de las herramientas de corte.....	84
4.3.1.1	En el torno .....	84
Ejecución del ensayo.....		84
4.3.1.2	En la fresadora .....	86
Ejecución del ensayo.....		87

4.3.1.3	Criterios de seguridad al operar la maquinaria .....	91
CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		95
5.1	Conclusiones.....	95
5.2	Recomendaciones .....	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		97
ANEXOS.....		101
Anexo 3. Características de insertos para tornos .....		103
Anexo 4. Características de insertos para fresadora.....		107
Anexo 6. Valores de t-student.....		119

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Composición química nominal del acero ASTM A743 CA6-NM .....	6
<b>Tabla 1.2.</b> Propiedades mecánicas del acero inoxidable ASTM A743 CA6-NM.....	7
<b>Tabla 1.3.</b> Composición química del AWS ER 312 .....	11
<b>Tabla 1.4.</b> Composición química del AWS ER 410 .....	11
<b>Tabla 2.1.</b> Máquina/Equipos a emplear.....	21
<b>Tabla 2.2.</b> Probetas a utilizar.....	22
<b>Tabla 3.1.</b> Velocidad de corte en función del tiempo de mecanizado. #1.....	36
<b>Tabla 3.2.</b> Velocidad de corte en función del tiempo de mecanizado. #2.....	37
<b>Tabla 3.3.</b> Velocidad de corte en función del tiempo de mecanizado. #3.....	37
<b>Tabla 3.4.</b> Velocidad de corte en función del tiempo de fresado. #1 .....	37
<b>Tabla 3.5.</b> Velocidad de corte en función del tiempo de fresado. #2 .....	38
<b>Tabla 3.6.</b> Velocidad de corte en función del tiempo de fresado. #3 .....	38
<b>Tabla 3.7.</b> Comparación de Número de Revoluciones del Acero A743 .....	40
<b>Tabla 3.8.</b> Comparación de Número de Revoluciones del Acero A743 con ER410	41
<b>Tabla 3.9.</b> Comparación de Número de Revoluciones del Acero A743 con ER312	41
<b>Tabla 3.10.</b> Tiempos de maquinado en Acero Inoxidable A743.....	41
<b>Tabla 3.11.</b> Tiempos de maquinado en Acero Inoxidable A743 con ER410.....	42
<b>Tabla 3.12.</b> Tiempos de maquinado en Acero Inoxidable A743 con ER 312.....	42
<b>Tabla 3.13.</b> Comparación de Número de Revoluciones del Acero A743 durante el fresado.....	44

<b>Tabla 3.14.</b> Comparación de Número de Revoluciones del Acero A743 con ER410 durante el fresado .....	45
<b>Tabla 3.15.</b> Comparación de Número de Revoluciones del Acero A743 con ER312 durante el fresado .....	45
<b>Tabla 3.16.</b> Comparación de Tiempos de maquinado del Acero A743 durante el fresado .....	46
<b>Tabla 3.17.</b> Comparación de Tiempos de maquinado del Acero A743 con ER410 durante el fresado .....	46
<b>Tabla 3.18.</b> Comparación de Tiempos de maquinado del Acero A743 con ER312 durante el fresado .....	46
<b>Tabla 3.19.</b> Datos informativos para el torno / fresadora.....	47
<b>Tabla 3.20.</b> Datos informativos de la plaquita TD1 para el torno.....	47
<b>Tabla 3.21.</b> Datos informativos de la plaquita TD2 para el torno.....	48
<b>Tabla 3.22.</b> Datos informativos de la plaquita TD3 para el torno.....	49
<b>Tabla 3.23.</b> Datos informativos de la plaquita TD4 para el torno.....	50
<b>Tabla 3.24.</b> Datos informativos de la plaquita FD1 para la fresadora.....	51
<b>Tabla 3.25.</b> Datos informativos de la plaquita FD2 para la fresadora.....	52
<b>Tabla 3.26.</b> Datos informativos de la plaquita FD3 para la fresadora.....	53
<b>Tabla 3.27.</b> Datos informativos de la plaquita FD4 para la fresadora.....	54
<b>Tabla 3.28.</b> Resumen de datos de plaquitas usadas para torneear.....	64
<b>Tabla 3.29.</b> Resumen de datos de plaquitas usadas para fresar.....	65
<b>Tabla 3.30.</b> Tiempos vs desgaste del flanco de placas para torneado .....	66
<b>Tabla 3.31.</b> Tiempos vs desgaste del flanco de placas para fresar .....	67

<b>Tabla 3.32.</b> Información económica placa TD1 .....	69
<b>Tabla 3.33.</b> Información económica placa TD2 .....	69
<b>Tabla 3.34.</b> Información económica placa TD3 .....	69
<b>Tabla 3.35.</b> Información económica placa TD4 .....	69
<b>Tabla 3.36.</b> Información económica placa FD1 .....	69
<b>Tabla 3.37.</b> Información económica placa FD2 .....	70
<b>Tabla 3.38.</b> Información económica placa FD3 .....	70
<b>Tabla 3.39.</b> Información económica placa FD4 .....	70
<b>Tabla 3.40.</b> Porcentaje de operación efectuada en el torno .....	71
<b>Tabla 3.41.</b> Porcentaje de operación efectuada en la fresadora .....	71
<b>Tabla 3.42.</b> Parámetros a mecanizar durante el torneado.....	72
<b>Tabla 3.43.</b> Parámetros a mecanizar durante el fresado .....	73
<b>Tabla 3.44.</b> Verificación de los tiempos de operaciones.....	75
<b>Tabla 3.45.</b> Verificación de los desgastes del flanco .....	77
<b>Tabla 3.46.</b> Verificación de los costos de producción.....	79
<b>Tabla 4.1.</b> Parámetros delimitados de actividades, tiempos y costos del torneado...	89
<b>Tabla 4.2.</b> Parámetros delimitados de actividades, tiempos y costos del fresado .....	90

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Proceso de soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa. ....	9
<b>Figura 1.2.</b> Equipo para proceso de soldadura GMAW .....	10
<b>Figura 1.3.</b> Insertos de corte.....	16
<b>Figura 1.4.</b> Insertos de corte con recubrimiento CVD. ....	16
<b>Figura 1.5.</b> Insertos de corte con recubrimiento PVD.....	17
<b>Figura 1.6.</b> Insertos de corte con recubrimiento CVD. ....	17
<b>Figura 2.1.</b> Diagrama de procesamiento de fase experimental .....	24
<b>Figura 2.2.</b> Diagrama de evaluación de costos.....	25
<b>Figura 2.3.</b> Diagrama de evaluación de desgaste de flanco .....	26
<b>Figura 2.4.</b> Diagrama de evaluación del tiempo de torneado.....	27
<b>Figura 2.5.</b> Diagrama de evaluación del tiempo de fresado.....	27
<b>Figura 2.6.</b> Diagrama práctico de la evaluación del.....	28
<b>Figura 3.1.</b> Curvaturas de tiempo vs desgaste del flanco con variación inicial .....	56
<b>Figura 3.2.</b> Pendiente velocidad de corte con vida de la herramienta.....	57
<b>Figura 3.3.</b> Pendiente de Taylor en el Acero Inoxidable A743 durante el torneado. ....	58
<b>Figura 3.4.</b> Pendiente de Taylor en el Acero Inoxidable A743 con ER 410 durante el torneado.....	59
<b>Figura 3.5.</b> Pendiente de Taylor en el Acero Inoxidable A743 con ER 312 durante el torneado.....	60
<b>Figura 3.6.</b> Pendiente de Taylor en el Acero Inoxidable A743 durante el fresado... ..	61



<b>Figura 3.7.</b> Pendiente de Taylor en el Acero Inoxidable A743 con ER410 durante el fresado.....	62
<b>Figura 3.8.</b> Pendiente de Taylor en el Acero Inoxidable A743 con ER312 durante el fresado.....	63
<b>Figura 3.9.</b> Diagrama de tiempo vs desgaste de la herramienta durante el torneado.....	67
<b>Figura 3.10.</b> Diagrama de tiempo vs desgaste de la herramienta durante el fresado.....	68
<b>Figura 3.11.</b> Diagrama de definición del t-student.....	77
<b>Figura 4.1.</b> Diagrama del tiempo de operación en el torno.....	92
<b>Figura 4.2.</b> Diagrama del tiempo de operación en la fresadora .....	93
<b>Figura 4.3.</b> Diagrama de costos de operación en el torno .....	93
<b>Figura 4.4.</b> Diagrama de costos de operación en la fresadora.....	94

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 4.1.</b> Desbaste de los extremos de la pieza .....	84
<b>Ilustración 4.2.</b> Punteado de la pieza .....	85
<b>Ilustración 4.3.</b> Ejecución del ensayo .....	87
<b>Ilustración 4.4.</b> Desbastado en la fresadora .....	87

## RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto de investigación se enfoca en el análisis de costos de fresado y torneado en rodets de turbinas hidráulicas. El cual es importante debido a que se evaluaron los parámetros de mecanizado y como afectaron la vida útil de los insertos utilizados para el desbaste del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, material base, y soldadura ER 312 y ER 410. Para el efecto se comparó experimentalmente los costos de mecanizado con distintas herramientas de corte para el establecimiento de variables y su relación con el costo final de mecanizado. El presente estudio tuvo un enfoque cualitativo y cuantitativo en el que se manejaron variables, que intervinieron en el proceso de mecanizado por arranque de viruta. Los parámetros utilizados para cada una de las herramientas de corte fueron las siguientes basadas en las recomendadas por el fabricante de cada una como se muestra a continuación: TD1  $V_c=225$  (m/min), TD2 da 270 (m/min), TD3 da 100 m/min y TD4 = 250 m/min, para el proceso de torneado. Dando de este grupo la pendiente de Taylor 0,79, en tanto que los datos ofertados por el acero inoxidable A743 con soldadura ER 410 da  $n=0,8$  y acero inoxidable A743 con soldadura ER 312 da = 0,87. Y para el proceso de fresado de igual manera se consideraron los siguientes parámetros: FD1  $V_c=120$  (m/min), FD2  $V_c=120$  (m/min), FD3  $V_c=235$  (m/min) y FD4  $V_c=400$  (m/min). Por otro lado, los costos de uso de maquinarias y consumibles en el orden de los insertos detallados anteriormente fueron 16,67; 19,38; 16,12 y 10,11 dólares respectivamente. Finalmente se validó la hipótesis planteada, definiéndose como parámetros óptimos el tipo de inserto, la velocidad de corte y el avance recomendado, concluyéndose con la comparación experimental de los diferentes insertos y cumpliendo con los objetivos propuesto.

**Palabras clave:** Acero inoxidable, soldadura ER 410, soldadura ER 312, proceso de mecanizado, insertos y material base.

## ABSTRACT

The research project focuses on the analysis of milling and turning costs in hydraulic turbine impellers. This is important because the machining parameters were evaluated and how they affected the useful life of the inserts used for roughing stainless steel ASTM A743 grade CA6-NM, base material, and ER 312 and ER 410 welding. For this purpose, the machining costs were experimentally compared with different cutting tools to establish variables and their relationship with the final machining cost. The present study had a qualitative and quantitative approach in which variables, which intervened in the machining process by chip removal, were handled. The parameters used for each of the cutting tools were the following based on those recommended by the manufacturer of each one as shown below: TD1  $V_c=225$  (m/min), TD2 gives 270 (m/min), TD3 gives 100 m/min and TD4 = 250 m/min, for the turning process. Giving from this group the Taylor slope 0.79, while the data offered by stainless steel A743 with ER 410 welding gives  $n=0.8$  and stainless steel A743 with ER 312 welding gives  $n=0.87$ . For the milling process, the following parameters were also considered: FD1  $V_c=120$  (m/min), FD2  $V_c=120$  (m/min), FD3  $V_c=235$  (m/min) and FD4  $V_c=400$  (m/min). On the other hand, the costs of using machinery and consumables in the order of the inserts detailed above were 16.67, 19.38, 16.12 and 10.11 dollars, respectively. Finally, the hypothesis was validated, defining as optimum parameters the type of insert, cutting speed and recommended feed rate, concluding with the experimental comparison of the different inserts and fulfilling the proposed objectives.

**Keywords:** Stainless steel, ER 410 weld, ER 312 weld, machining process, inserts and base material.

## CAPITULO 1.- MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes Investigativos

El crecimiento de la industria energética especialmente de las hidroeléctricas; pronostica que, a corto o mediano plazo, los componentes de las turbinas hidráulicas deben ser reemplazados. Si el caso amerita, pasar por un proceso de reparación o recuperación debido a los mecanismos de fatiga o por haber cumplido con su ciclo de vida útil. Los rodets de todas las hidroeléctricas son específicos y no son producidos en serie sino bajo pedido, por lo que se demora entre 2 a 3 años su fabricación. El costo de su manufactura es aproximadamente de \$3.500.000, que para el contexto nacional es una inversión sustancial; por otra parte, los rodets que salen de funcionamiento eran declarados chatarra. [1] [2]

Los costos de recuperación de un rodete hidráulico son menores en relación con los costos que ocasiona adquirir uno nuevo; esto se lo realiza en empresas especializadas, una de ellas ANDRITZ, con sus talleres en Europa, en el cual el precio recuperación de un rodete superarían aproximadamente \$1.500.000 [1]

En la actualidad debido al desarrollo industrial las empresas tienen grandes desafíos como el de generar grandes volúmenes de producción, además de exigencias de flexibilidad, calidad y competitividad. Por lo que, en los procesos de manufactura se ha empleado la utilización de máquinas herramientas totalmente automatizadas, con la finalidad de reducir la necesidad de utilización de mano de obra. [3] [4]

Dentro de la recuperación de rodets y partes de turbinas hidráulicas, el mecanizado por arranque de viruta (torneado y fresado) es uno de los sub-procesos los cuales combinan el trabajo de una máquina-herramienta con el de una herramienta de corte, en la que su dureza siempre es más alta que la del material que se va a mecanizar, con parámetros de operación predeterminadas, las cuales se eligen en función del tipo de material que se va a mecanizar, del material de la herramienta y de la maquina utilizada. [5]

Es importante evaluar el desgaste y la vida útil de la herramienta de corte ya que se evitará algunos efectos no deseados como: una menor exactitud dimensional de la

pieza terminada, aumento de las vibraciones durante el proceso de corte. Los estudios que se han realizado respecto al desgaste de la vida útil de las herramientas se enfocan en el análisis desde diferentes puntos de vista, pero el criterio más utilizado es el que se basa directamente en la práctica. [6] [7]

Además, los efectos térmicos que se produce durante el mecanizado se generan tensiones residuales lo que también afecta la superficie mecanizada, por lo que se opta por la utilización de fluidos de corte, pero la utilización de estos encarece los costos de fabricación, además de provocar daños en la salud de los trabajadores y causa impacto ambiental, por lo que se evalúan otras formas aumentar la vida útil de las herramientas. [8] [9]

Para la evaluación del control de calidad, el análisis de la rugosidad de la superficie de la pieza es fundamental, ya que si existen irregularidades se pueden formar grietas lo afecta el rendimiento del componente; esto está ligado a la correcta selección de los parámetros de corte; a través de estudios se obtendrá resultados que permitirán demostrar a través de indicadores la eficiencia operativa que prevendrá pérdidas y permitirán mayor ahorro económico. [10] [11]

En algunos casos las herramientas de para fresado carecen de pruebas de su configuración y casi siempre se las asocia con tareas a corto plazo o temporales. Por lo que se busca generar un modelo para predecir los tiempos mínimos necesarios en el uso de las herramientas de fresado El costo-beneficio del fresado se puede modelar con datos experimentales, dichos resultados van en contra de las herramientas de fresado convenientes; además que se necesitan tiempos de uso relativamente pequeños para aprovechar el tiempo empleado en dar forma a la superficie. [12] [13]

Los experimentos de mecanizado se realizan a diferentes combinaciones de velocidad de corte y de avance, y se estudia dicha maquinabilidad en términos de vida útil y desgaste. El modelo extendido de Taylor de la vida útil de la herramienta incluye factores como la velocidad de corte y avance para determinar los coeficientes de dicho modelo. Al utilizar este modelo estándar de optimización de costos, los parámetros se optimizan considerando la compensación entre la tasa de remoción del material y la vida útil de la herramienta. [14] [15]

En el Ecuador no existía un taller para recuperación de turbinas, pero en el año 2017 se inauguró el CIRT (Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas Hidráulicas y partes Industriales), perteneciente a la Unidad de Negocios Hidroagoyán de CELEC EP, en este centro se realizan investigaciones y trabajos con el objetivo de recuperar o mejorar las propiedades de los rodets. Estos trabajos de recuperación siguen un proceso desde el transporte del rodete pasando por todos los sub-procesos hasta llegar a las pruebas de control de calidad y puesta en marcha del rodete recuperado, todo esto se realiza bajo normas internacionales y requerimientos de cada Unidad de Negocios. [16]

Durante el torneado y fresado de los rodets y partes que se van a recuperar se considera las herramientas de desbaste, pero como en el país no se fabrican dichas herramientas es necesario importarlas de otros lugares lo que limita que se tenga acceso a insertos de diferentes calidades y costos.

A nivel de país no se han evaluado las características entre diferentes insertos que ayuden a conocer cuál es la relación óptima entre el costo y beneficio para que ayude a disminuir costos de mecanizado, pero conservando la calidad final.

## **1.2 Justificación**

El análisis de costos de fresado y torneado en rodets de turbinas hidráulicas es importante debido a que se evaluaron los parámetros de mecanizado y como afectaron la vida útil de los insertos utilizados para el desbaste del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, material base, y soldadura ER 312 y ER 410, material de aporte, y se estableció cuál es su relación con el costo final de mecanizado, además que se instituyó una metodología con los parámetros adecuados y herramientas de corte más factibles para este proceso que ayuda como base para futuras investigaciones.

La realización de la evaluación de las calidades y costos de diferentes ayuda a disminuir costos sin afectar la calidad del trabajo de recuperación; además que el desarrollo de los experimentos sirve para posteriores ensayos y estudios para poder evaluar experimentalmente calidad, durabilidad y costos de nuevos materiales para desbaste.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar los costos de mecanizado por arranque de viruta para aceros inoxidables ASTM A743 grado CA6-NM y soldadura ER312 y ER410 para el CIRT-CELEC EP.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Investigar en fuentes bibliográficas acerca de insertos para mecanizado de turbinas hidráulicas.
- Establecer una metodología para la evaluación de los costos de mecanizado con respecto a los parámetros de corte utilizados en turbinas hidráulicas reparadas.
- Comparar los costos de mecanizado con diferentes tipos de herramientas para cada proceso de mecanizado.

### **1.4 Hipótesis**

Un análisis teórico y experimental de la durabilidad de los insertos permitirá disminuir los costos de mecanizado.

### **1.5 Señalamiento de variables**

#### **1.5.1 Variable independiente**

Durabilidad de los insertos

#### **1.5.2 Variable dependiente**

Costo de mecanizado

### **1.6 Fundamentación teórica**

#### **1.6.1 Aceros inoxidables**

Los aceros inoxidables son aceros de alta aleación, que son resistentes a la corrosión gracias a la alta presencia de cromo, por lo que para que un acero sea considerado inoxidable de contener al menos un 11% de cromo; que además se incorporan otros



elementos como el molibdeno, manganeso, silicio, níquel, titanio para así mejorar algunas propiedades. [17] [18]

Los aceros inoxidable son utilizados en ambientes rigurosos a altas temperaturas debido a su gran resistencia a la oxidación, la cual aumenta si se le añade níquel y molibdeno. [17]

### **1.6.2 Clasificación de los aceros inoxidable**

Los aceros inoxidable se pueden clasificar en cuatro tipos: [18]

- Aceros inoxidable ferríticos
- Aceros inoxidable austeníticos
- Aceros inoxidable martensíticos.
- Aceros inoxidable endurecidos por precipitación

### **1.6.3 Aceros inoxidable martensíticos**

Los aceros inoxidable martensíticos son básicamente aleaciones hierro-cromo que contienen del 12 al 17% de cromo y 0.15 a 1% de carbono, para que se produzca una estructura martensítica a partir de la región austenítica mediante el tratamiento de temple. [18]

Para mejorar la resistencia al impacto y cavitación a los aceros inoxidable martensíticos que contenían un 13% de Cr se les adicionó un 4% de Ni, que además obtuvieron ciertas ventajas como:

- Mayor resistencia a la fractura
- Mayor resistencia a la corrosión
- Mayor soldabilidad
- Mayor dureza

Este tipo de aceros inoxidable martensíticos que poseen una alta resistencia a la corrosión es debido al contenido de carbono y cromo en la aleación, por lo que en estudios realizados en los que desarrollaron modelos para evaluar cual es la relación entre estos elementos con esta propiedad, dieron como resultado que la resistencia a la corrosión se incrementa cuando el contenido de carbono es bajo, por lo que se

determinó que los aceros inoxidable martensíticos de bajo contenido de carbono son más resistentes a la corrosión que los demás aceros inoxidable. [19] [20]

#### 1.6.4 Acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM

El acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM es una aleación de aceros de bajo carbono que fue desarrollada en la década de los años 60 en Suiza y que después se empezó a utilizar en América, entre las propiedades tenemos que es una aleación resistente a la corrosión debido a que los principales elementos que lo componen son cromo, níquel y carbono, por lo que tiene sus aplicaciones en la fabricación de turbinas hidráulicas, propulsores, componentes de bombas, entre otros. [20]

La designación CA6-NM brinda información sobre la composición química de esta aleación, en la que la letra C indica que el material es resistente a ataques corrosivos a temperaturas menores a los 650 °C; la letra A muestra la relación entre los contenidos de Cr y Ni, el número 6 indica el porcentaje máximo de carbono multiplicado por 100, y las letras NM indican la presencia de otros elementos en el material como níquel y molibdeno. [21]

La composición química del acero según la norma ASTM A743, se observa en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1.** Composición química nominal del acero ASTM A743 CA6-NM [22]

ASTM A743 Grado CA6- NM	Composición wt %							
	Carbono máx	Manganeso máx	Silicio máx	Fósforo máx	Azufre máx	Cromo	Níquel	Molibdeno
	0.06	1	1	0.04	0.03	11.5- 14.00	3.5- 4.5	0.4-1

La combinación de los elementos Cr, Ni, y C, principales en esta aleación, permite alcanzar una matriz martensítica, y cada uno de estos elementos actúan como estabilizadores de una determinada fase [22]

Las propiedades mecánicas del Acero Inoxidable martensítico según el estándar ASTM A743 para el grado CA6-NM se describe en la tabla 1.2

**Tabla 1.2.** Propiedades mecánicas del acero inoxidable ASTM A743 CA6-NM [22]

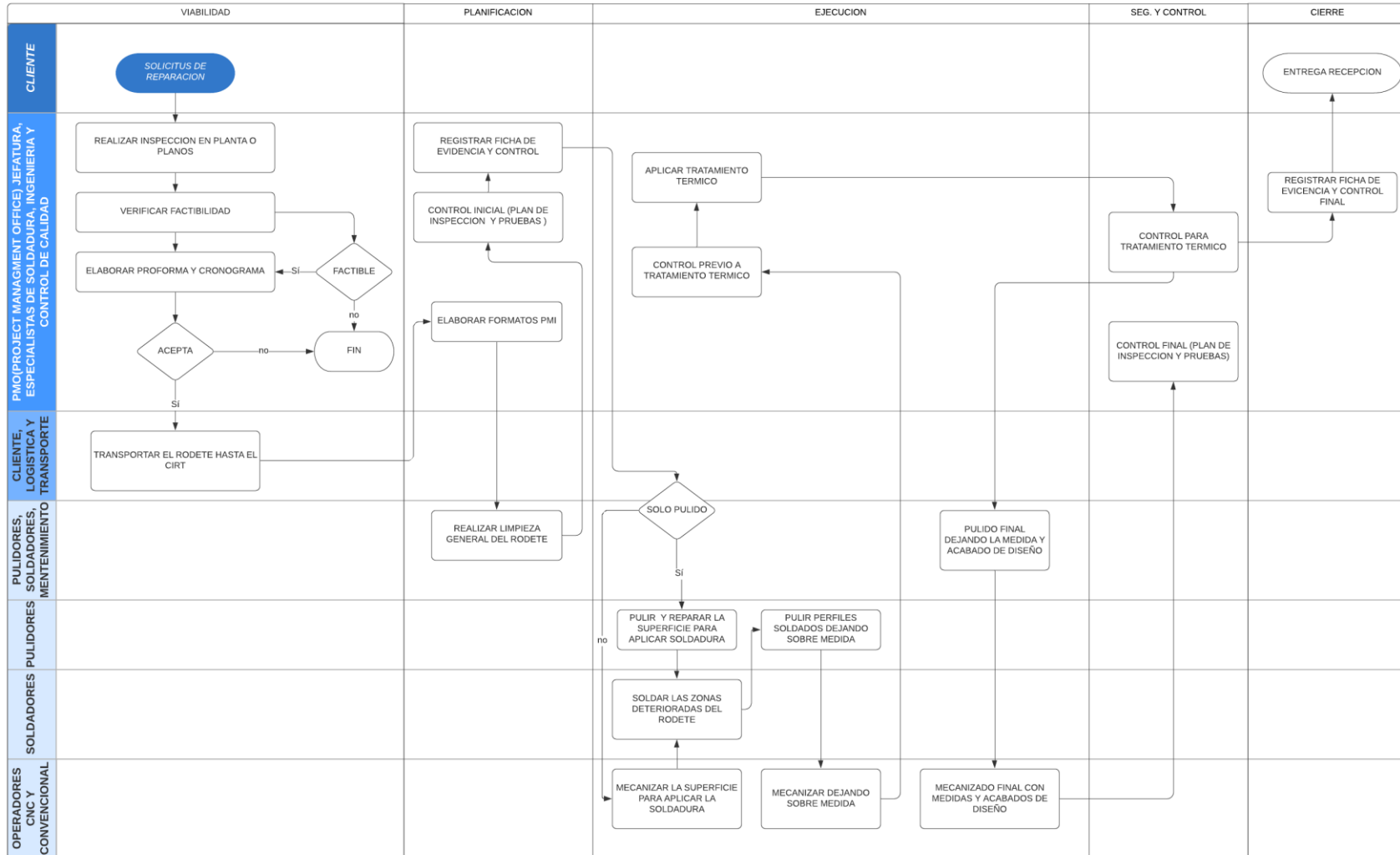
ASTM A743 Grado CA6-NM	Resistencia a la tensión, mínimo		Resistencia a la fluencia, mínimo		Elongación en 2 plg. (50 mm), mínimo, % <sup>A</sup>	Reducción de área, mínimo, %
	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
	110	[755]	80	[550]	15	35

### 1.6.5 Proceso de recuperación de rodets de turbinas hidráulicas

En el siguiente diagrama se observa el proceso general de recuperación de rodets de turbinas hidráulicas.

DIAGRAMA DE RECUPERACION

maysalazarf@gmail.com | July 4, 2020

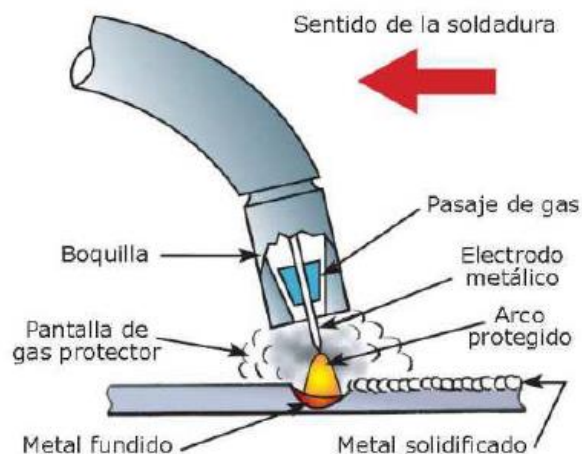


### 1.6.6 Proceso de soldadura

Los aceros inoxidable debido a sus buenas características de soldabilidad pueden ser soldados por procesos como: GMAW, SMAW, GTAW. La selección del proceso tiene relevancia tanto por los costos de ejecución y productividad, así como por la calidad de los depósitos de material soldado y los efectos del calentamiento sobre el material base también varían.

#### Soldadura por Arco Eléctrico con Protección Gaseosa (Gas Metal Arc Welding - GMAW)

Es un proceso de soldadura por arco en que éste se establece entre un electrodo metálico continuo de aporte y el charco de soldadura de metal base. La protección se obtiene por completo de un gas suministrado que puede ser inerte o activo.



**Figura 1.1.** Proceso de soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa.

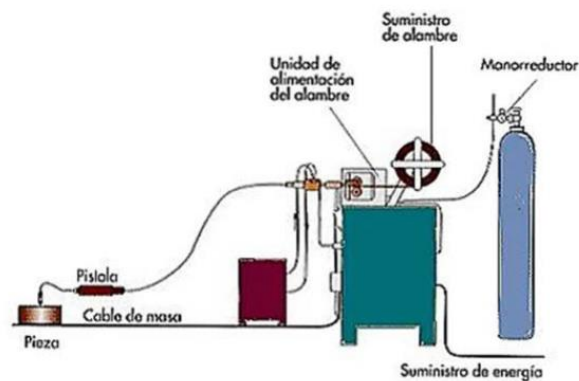
El principio es similar a la soldadura por arco, con la diferencia que en GMAW se emplea un alambre continuo, sólido y desnudo y la protección del gas, como se observa en la Figura 1.1, que le dan a este método la capacidad de producir cordones más limpios, no forma escoria sino una película vítrea ligera. El alambre tiene las funciones de servir como electrodo y como metal de aporte, al no haber agentes limpiadores ni fundentes, se requiere cuidados y limpieza adecuados para obtener soldaduras libres de poros y otras discontinuidades. Existen dos variantes las cuales se diferencian por el tipo de gas:

El método MIG utiliza un gas inerte (argón, helio o una mezcla de ambos). Se emplea generalmente para soldar aceros inoxidable, cobre, aluminio, chapas galvanizadas y aleaciones ligeras. Simultáneamente a la alimentación con alambre tiene lugar una adición del gas inerte que enfría las superficies y protege el metal de la acción del aire ambiental. Esta previene la oxidación.

La soldadura MAG es un tipo de soldadura que utiliza un gas protector químicamente activo: dióxido de carbono, argón más dióxido de carbono, argón más oxígeno. Se utiliza básicamente para aceros no aleados o de baja aleación.

### 1.6.6.1 Equipo de soldadura

El equipo básico empleado en este proceso consiste en una fuente de energía de voltaje constante, una unidad de alimentación de electrodo, fuente para suministro de gas de protección y antorcha o pistola.



**Figura 1.2.** Equipo para proceso de soldadura GMAW

### Gases de protección

Los gases empleados constituyen variables de soldadura que afectan este proceso y tiene una gran influencia sobre las características de las uniones soldadas.

La selección del mejor gas protector se basa en la consideración del material que se va a soldar y el tipo de transferencia de metal que se empleará.

### 1.6.6.2 Material de aporte

Según la American Welding Society (AWS) así como firmas comerciales sugieren que como material de aporte se utilicen materiales que contenga una composición química similar a la del metal base para así evitar alteraciones esenciales en la microestructura y distorsiones del material.

Los materiales de aporte utilizado para soldar son del tipo ER 410 y ER 312 para aceros inoxidable de composición similar para dar resistencia a la corrosión, abrasión y erosión, a continuación, en las tablas 1.3 y 1.4 se muestra la composición química de cada uno de los materiales de aporte.

**Tabla 1.3.** Composición química del AWS ER 312 [23]

	% C	%Cr	%Ni	%Mo	%Mn
<b>Requerimiento AWS ER312</b>	0.15 máx	28.0-32.0	8.0-10.5	0.75 máx	1.0-2.5
<b>Resultados típicos</b>	0.11	29.6	8.9		1.6
	%Si	%P	%S	%Cu	NF
<b>Requerimiento AWS ER312</b>	0.30-0.65	0.03 máx	0.03 máx	0.75 máx	No requerido
<b>Resultados típicos</b>	0.44	0.02	0.01	0.10	50-80

**Tabla 1.4.** Composición química del AWS ER 410 [24]

	% C	%Cr	%Ni	%Mo	%Mn
<b>Requerimiento AWS ER3410</b>	0.12 máx.	11.5-13.5	0.06 máx	0.75 máx	0.6 máx
<b>Resultados típicos</b>	0.11	12.5	0.1	0.03	0.45
	%Si	%P	%S	%Cu	
<b>Requerimiento AWS ER410</b>	0.5 máx	0.03 máx	0.03 máx	0.75 máx	
<b>Resultados típicos</b>	0.39	0.01	0.01	0.14	

### **1.6.7 Proceso de mecanizado**

Se llama mecanizado a los procesos en los que existe eliminación de material. Se utiliza para la elaboración de piezas desde una pieza en bruto inicial o para hacer el acabado de las piezas fabricadas por otros métodos. Los procesos de mecanizado pueden ser: mecanizado por arranque de viruta, procesos abrasivos y procesos avanzados de mecanizado. [25]

### **1.6.8 Mecanizado por arranque de viruta**

Los procesos de mecanizado por arranque de viruta son muy utilizados en la industria. En estos procesos el tamaño de la pieza encierra la geometría final, y el material en exceso es removido en forma de viruta. la cantidad de material desechado puede ir desde una pequeña proporción hasta casi la totalidad de la pieza inicial. [26]

Como en todos los métodos de fabricación se presentan ventajas y desventajas según sea el caso.

Ventajas:

- Alta precisión dimensional en sus operaciones.
- El material conserva sus propiedades mecánicas ya que no existe cambio en la microestructura.
- Se obtienen texturas superficiales convenientes para los diferentes diseños
- Se pueden realizar diversas formas.
- Son procesos de sencilla automatización.
- Poca variedad de herramientas.

Desventajas:

- Genera gran cantidad de desecho de material.
- Requieren una mayor energía de proceso.
- El tamaño de las piezas es limitado.
- Tiempos de producción altos
-



### 1.6.8.1 Torneado

En el proceso de torneado se mecanizan piezas de revolución, que va arrancando viruta con una herramienta de filo geoméricamente de determinado, que generalmente permanece estacionaria mientras la pieza rota sobre su eje. [25] [27]

Existen una variedad de trabajos que pueden ser realizados en el torno como:

- Refrentado
- Cilindrado y mandrinado
- Torneado cónico
- Torneado de formas o copiado
- Roscado
- Ranurado y tronzado
- Moleteado
- Taladrado y escariado

### Parámetros de torneado

Los principales parámetros que se toma en cuenta para el torneado son: [27]

- **Velocidad del husillo:** es la velocidad de giro de la pieza, se mide en rpm.
- **Velocidad de corte:** es la velocidad tangencial en la parte exterior de corte se mide en m/min

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.1)$$

Donde D es el diámetro exterior de la pieza expresado en mm.

- **Avance:** representa la distancia recorrida por la herramienta por cada vuelta de la pieza se mide en mm/rev
- **Profundidad de pasada:** es la distancia entre la superficie sin cortar y la cortada, se mide en mm.

### Cálculo de potencias

Para los diferentes cálculos de las potencias de torneado se emplean las siguientes formulas: [27]

- Fuerza principal de corte

$$F_T = K_s \cdot A(N) \quad (1.2)$$

Donde:

$K_s$  depende de: material de la pieza, geometría de la pieza, ángulo de posición, espesor de la viruta, velocidad de corte.

$N_t$  componente normal o fuerza de empuje.

- Potencia de corte

$$P = \frac{v \cdot F_T}{60 \cdot 1000} (KW) \quad (1.3)$$

- Potencia consumida

$$P_{MH} = \frac{p}{n} (KW) \quad (1.4)$$

### 1.6.8.2 Fresado

El fresado es un proceso en el que se arranca la viruta utilizando una herramienta llamada fresa que es de forma circular y tiene múltiples filos. El movimiento fundamental de avance es rectilíneo de la pieza o herramienta, y el movimiento fundamental de corte es rotativo de la herramienta. [25] [27]

Las operaciones de fresado pueden ser:

- Planeado
- Planeado en escuadra
- Ranurado
- Escuadrado
- Vaciado
- Ranuras y cortes
- Copiado
- Canteado
- Chaflanes

## Parámetros de fresado [27]

- Velocidad de corte:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} (m/min) \quad (1.5)$$

n: velocidad de giro de la herramienta (rpm)

D: diámetro de la fresa (mm)

- Características de la herramienta:

$$u = \frac{\pi \cdot D}{z} (mm) \quad (1.6)$$

Z: número de dientes

u: paso de dientes (mm)

- Avance por vuelta (mm/rev)

$$S_N = z \cdot S_z \quad (1.7)$$

$S_z$ : Avance por diente (mm/diente)

- Velocidad de avance

$$S' = S_N \cdot n \quad (1.8)$$

### 1.6.9 Herramientas de corte

Es el elemento que está en contacto directo con la y produce eliminación de material sobrante de la pieza en bruto. Se pueden clasificar en función del número de aristas de corte: mono-filo y multi-filo; y según su constitución: enterizas, con plaquitas soldadas y de plaquitas intercambiables que actualmente son las más utilizadas. [25] [27]

#### 1.6.9.1 Insertos

Son herramientas de corte, que permiten obtener la efectividad al momento de realizar cortes definidos, donde la resistencia que tienen los filos se basa en su forma, la cual se debe comprender que ha mayor ángulo, se va a producir mayor filo de resistencia, por lo que las diferentes combinaciones de dureza, tenacidad y resistencia al desgaste, por lo son de diferentes calidades, los cuales deben ser lo suficientemente duros para

resistir al desgaste en incidencia, a la tenacidad para resistir a la rotura del núcleo, por lo que químicamente son elementos estables para resistir la oxidación y la difusión [29].



**Figura 1.3.** Insertos de corte. [29]

Los materiales de herramienta de metal duro con recubrimiento son:

- Recubrimiento CVD, que significa recubrimientos de deposición química en fase de vapor, las cuales se generan a partir de reacciones químicas a 700 hasta 1050°C; los cuales son útiles en torneado y mandrinado de aceros en común [29].



**Figura 1.4.** Insertos de corte con recubrimiento CVD. [29]

- Recubrimiento PVD, que significa recubrimientos de deposición física en fase de vapor, que se forman a bajas temperaturas (400-600°C), donde el proceso implica la evaporación de un metal al reaccionar con otro químico [29].



**Figura 1.5.** Insertos de corte con recubrimiento PVD. [29]

- Metal duro, es un material pulvimetalúrgico; el cual está compuesto de partículas de carburo de tungsteno (WC) y un aglomerante rico en cobalto (Co) metálico, donde las aplicaciones de mecanizado se componen de más del 80% de fase WC dura, por lo que el cuerpo se forma a través del prensado del polvo o técnicas de moldeado por inyección en un cuerpo que luego se sinteriza a la densidad total [29].



**Figura 1.6.** Insertos de corte con recubrimiento CVD. [29]

Los tipos de insertos son:

- Inserto normal, son útiles para realizar trabajos con mayor comodidad, sufriendo mayor desgaste al rato de maquinar acero inoxidable.
- Inserto Wiper, este tipo de herramienta sufre un mayor desgaste a una velocidad de 200 rpm

Entra las formas que se destacan en el mercado según [29] son:

- Rombo
- Triangulo
- Cuadrado
- Redondo

### **1.6.9.2 Desgaste de la herramienta**

El desgaste de la herramienta de corte se da cuando hay una pérdida del material debido a la fricción lo que hace que la herramienta cambie su geometría hasta llegar a inutilizarla. [26]

Existen tres principales mecanismos de desgaste que son:

- Abrasión: la da cuando existen en la pieza de trabajo inclusiones de partículas duras que hacen que la superficie de la herramienta tenga rayaduras.
- Adhesión: debido a las microsoldaduras, los átomos de la superficie de la herramienta son arrastrados por la viruta.
- Difusión: cuando las temperaturas son altas los átomos de la aleación se difunden hacia las partes donde existen menos concentraciones, por lo que la superficie de la herramienta se empobrece y se debilita. [26]

## **1.6.10 Costos de procesos de mecanizado**

### **1.6.10.1 Tiempo de producción**

El tiempo de producción de un lote de  $N_b$  es la suma de los siguientes factores:

- Tiempo de arranque de viruta:  $N_b \cdot t_m$
- Tiempo de no arranque de viruta común a todas las piezas:  $N_b \cdot t_l$

- Tiempo invertido en los cambios de herramientas:  $N_t \cdot t_{ct}$

El tiempo de arranque de viruta por pieza  $t_m$  depende de la velocidad de cote.

El tiempo de no arranque de viruta común a todas las piezas  $t_l$  se relaciona con los tiempos de carga y descarga de pieza; es el tiempo de producción en el que no se gasta la herramienta. [26]

El número de herramientas invertidas en la elaboración de un lote será tal que queden desgastadas cada vez que se cambien:

$$N_t \cdot t = N_b \cdot t_m \quad (1.9)$$

Siendo  $t$  la vida de cada uno de los filos de la herramienta que depende de la ley de Taylor.

El tiempo promedio por pieza:

$$t_{pc} = t_l + t_m + \frac{N_t}{N_b} \cdot t_{ct} \quad (1.10)$$

### 1.6.10.2 Costo de producción

Para los costos de fabricación se considera los siguientes factores:

- Costo medio por filo de herramienta  $C_t$
- Tasa horaria de maquina  $M$
- Materia prima y energía. Son gastos fijos por pieza y no depende de la velocidad de corte. [26]

$$C_{pr} = M \cdot t_{pr} + \frac{N_t}{N_b} \cdot C_t \quad (1.11)$$

### 1.6.10.3 Eficiencia económica

Es el beneficio económico obtenido por unidad de tiempo. Si el precio de venta es  $S$ , la eficiencia económica por pieza es: [26]

$$\frac{S - C_{pr}}{t_{pr}} \quad (1.12)$$

#### **1.6.10.4 Selección de la velocidad de corte**

Existen diferentes criterios para la selección de la velocidad óptima:

- Máxima productividad: equivale a hacer mínimo el tiempo promedio por pieza, dando lugar a que se elaboren más piezas en el mismo tiempo. Es costoso ya que se consume numerosas herramientas.
- Mínimo costo: se escoge este método cuando la máquina no tiene ningún apuro para terminar dado que se prevé que existen tiempos muertos.
- Máxima rentabilidad: se maximiza la eficiencia, de forma que se maximiza el beneficio por unidad de tiempo. [26]

### **1.7 Otros costos**

#### **1.7.1 Costos de mano de obra**

Se define como el esfuerzo tanto físico como mental que supone llevar a cabo un trabajo; pero también es un concepto que se utiliza para valorar el coste de ese esfuerzo.

Existen dos tipos de mano de obra

- La mano de obra directa que es la que toca el producto o realiza el servicio.
- La mano de obra indirecta, es decir, los trabajos necesarios para fabricar el producto u ofrecer el servicio pero que no tienen contacto directo con él.

Por lo general estos datos son fijos sin depender de la velocidad empleada los cuales se vinculan en base a la producción a realizar y la herramienta a emplear.



## CAPITULO II.- METODOLOGÍA

### 2.1 Materiales

**Tabla 2.1.** Máquina/Equipos a emplear

<b>Máquinas a emplear</b>	
<b>Máquinas/Equipos</b>	<b>Características</b>
Torno Romi C420	<ul style="list-style-type: none"><li>-Modelo: C420</li><li>-Serie N°: 016-018513-448</li><li>-Peso neto: 2.8 T</li><li>-Velocidad máx. Usillo: 400 rpm</li><li>-Fuente de poder: 220 V. 50/60 Hz</li><li>-Corriente de carga: 52 A</li><li>-Corriente motor principal: 31 A</li></ul>
Fresadora Hass VF-9/50	<ul style="list-style-type: none"><li>-Potencia máx: 22.4 kW</li><li>-Velocidad máx.: 7500 rpm</li><li>-Sistema de accionamiento: 2 Speed Gearbox</li><li>-Corte máx.: 12.7 m/min</li><li>-Boquilla de refrigerante programable</li></ul>
Romi D-1000	<ul style="list-style-type: none"><li>-Avance rápido: 30 m/min</li><li>-Capacidad de herramientas: 30</li><li>-Cabezal: 8000 rpm</li><li>-Motor principal: 18.5 kW</li></ul>

**Tabla 2.2.** Probetas a utilizar

<b>Probetas para torneado, fresado y soldadura</b>	
<b>Material</b>	<b>Características</b>
Acero Inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buena combinación de propiedades mecánicas y soldabilidad</li> <li>- Aceptable resistencia a la corrosión</li> <li>- Bajo costo en relación a otros aceros inoxidables</li> <li>- Densidad 7.6 – 7.7 g/cc</li> <li>- Módulo elástico: 220 GPa</li> <li>- Elongación: 15 %</li> <li>- Resistencia a la tensión: 775 MPa</li> </ul>
Soldadura ER 410	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conformidad de acuerdo AWS A5.9/ A5.9M:2006 ER 410</li> <li>- Soldadura para aceros inoxidables de composición similar.</li> <li>- Aplicación Típica para partes de turbinas</li> <li>- Todas las posiciones de soldadura</li> <li>- Gas de protección: Argón</li> </ul>
Soldadura ER 312	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conformidad de acuerdo AWS A5.9/ A5.9M:2006 ER 312</li> <li>- Puede ser usada para uniones de alta resistencia en materiales base disimiles.</li> <li>- Depósito de soldadura presenta alta resistencia a la tensión</li> <li>- Todas las posiciones de soldadura</li> <li>- Gas de protección: Argón</li> </ul>

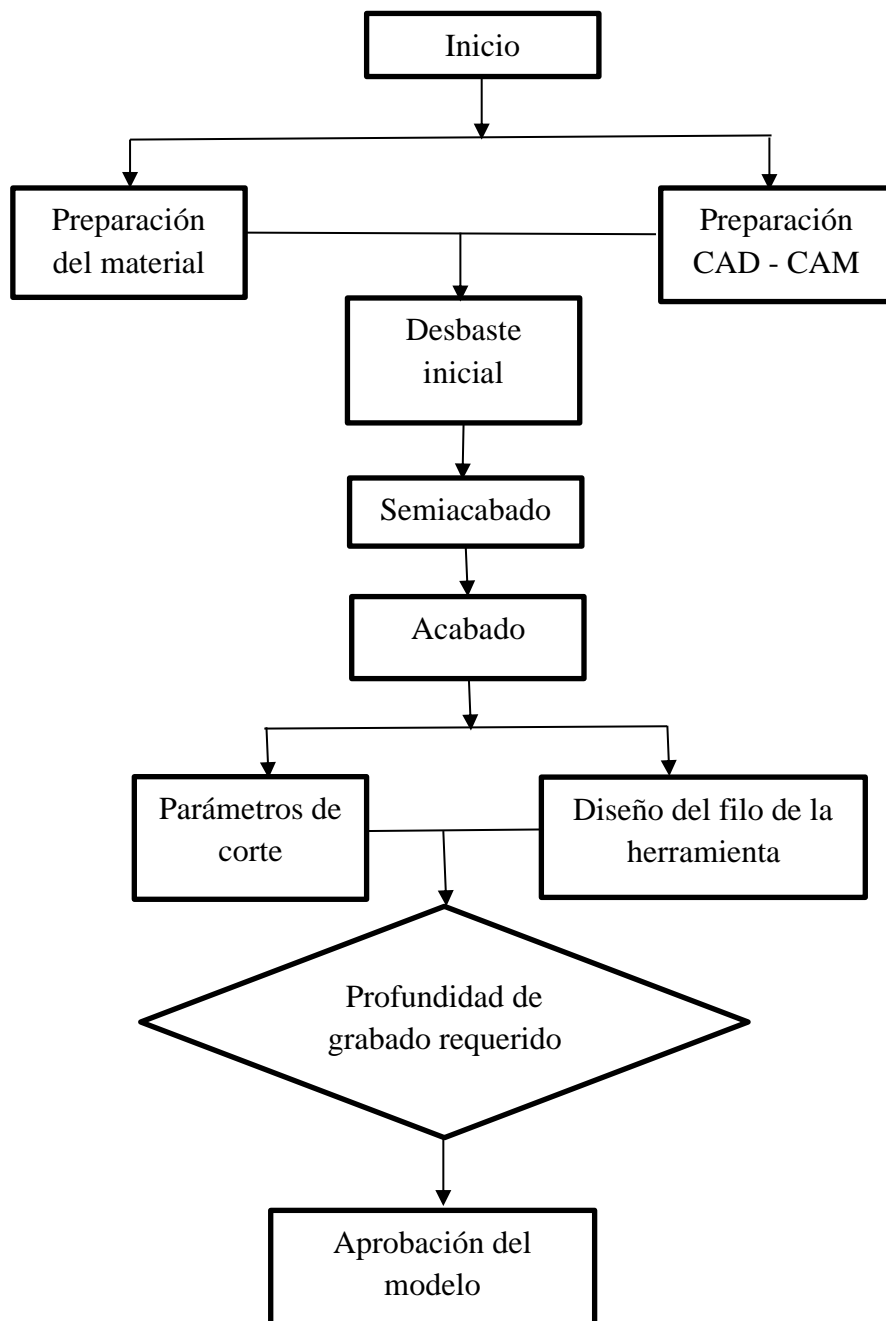
## **2.2 Metodología**

La investigación va a tener un enfoque cualitativo y cuantitativo en la que se manejarán variables, que interviene en el proceso de mecanizado por arranque de viruta del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, así como en soldadura ER312 y ER410 las cuales pueden ser cuantificadas y analizadas y así poder determinar la relación existente y cómo afectaran en la vida útil de la herramienta de corte y la influencia en los costos del proceso.

Se necesitará realizar varios tipos de investigación como la de campo, la cual ayuda a conocer cómo se realiza el proceso de desbaste sobre el material y la soldadura y poder evaluar como es el comportamiento de las diferentes herramientas de corte bajo diferentes condiciones de trabajo. Además de una investigación experimental en la que se va a realizar probetas con soldadura para luego ser mecanizadas con diferentes herramientas de corte estimando de mecanizado para determinar la vida útil de cada una de ellas; se realiza la toma de tiempos de mecanizado en cada experimento, los cuales se obtienen de la misma máquina para luego ser comparados con los tiempos teóricos obtenidos mediante el cálculo con fórmulas establecidas para los procesos de mecanizado; adicionalmente después de cada ensayo se procede a la verificación mediante inspección visual para poder determinar las condiciones en las que terminaron las herramientas, acompañado de mediciones con rugosímetros para la determinación del desgaste. Y finalmente una investigación bibliográfica para poder conceptualizar las variables y los parámetros del proceso de mecanizado y obtener la información de diferentes fuentes como libros, artículos científicos, publicaciones de revistas las cuales ayudan en la sustentación de la investigación y resultados.

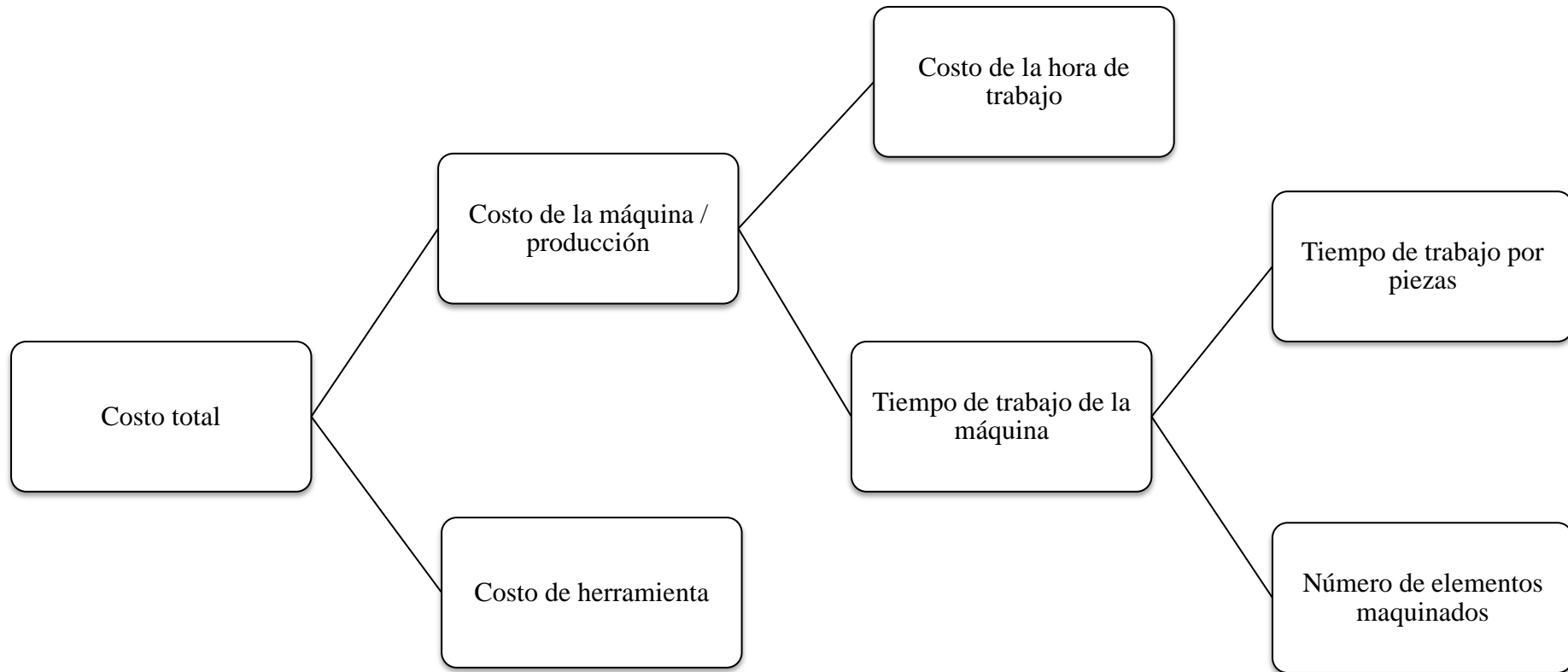
### **2.2.1 Análisis y discusión de los resultados**

El proyecto de investigación se define en base al proceso de ejecución estipulado en el diagrama de flujo especificado en la figura 3.1, en donde se acentúa el ciclo de trabajo completo que se debe cumplir en función de los parámetros de corte de la herramienta de grabado, detallando el orden de procesos de operación.



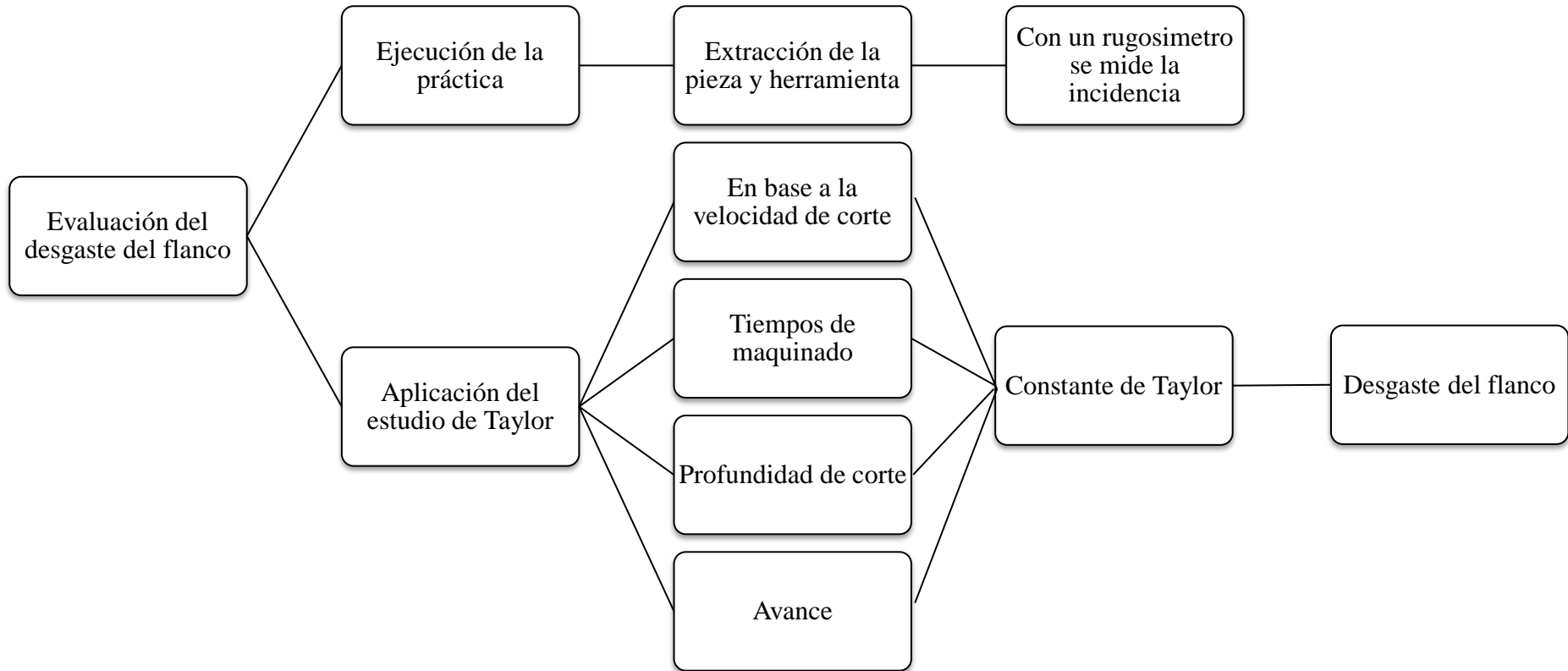
**Figura 2.1.** Diagrama de procesamiento de fase experimental

### 2.2.2 Procedimiento a seguir en la evaluación de costos



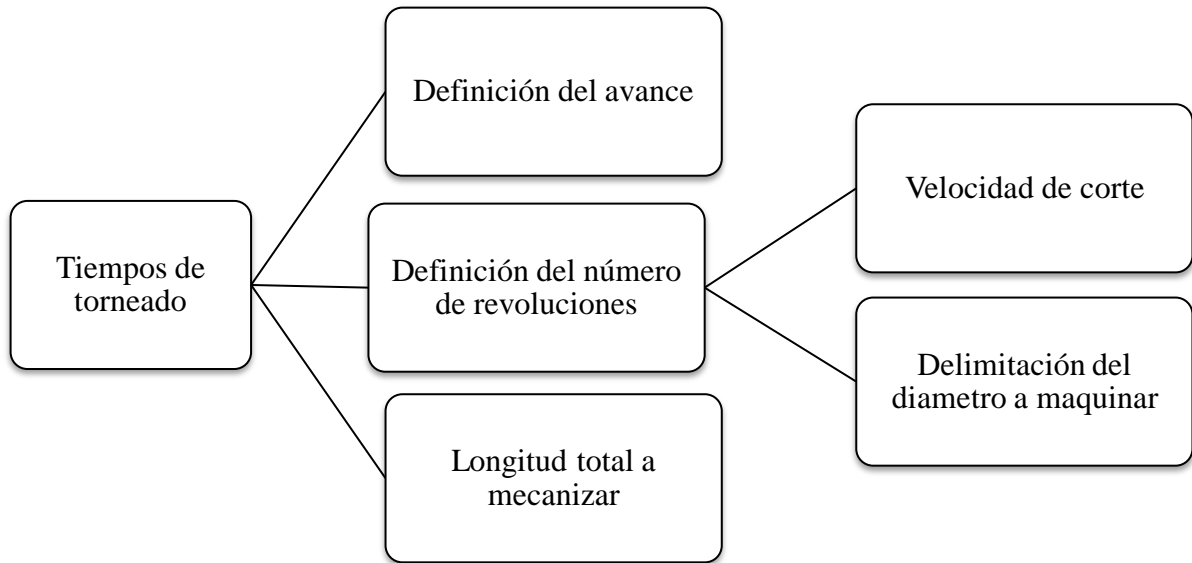
**Figura 2.2.** Diagrama de evaluación de costos

### 2.2.3 Procedimiento a seguir en la evaluación de desgastes del flanco

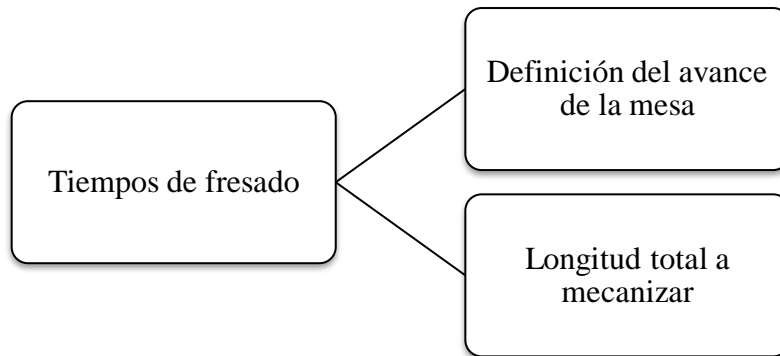


**Figura 2.3.** Diagrama de evaluación de desgaste de flanco

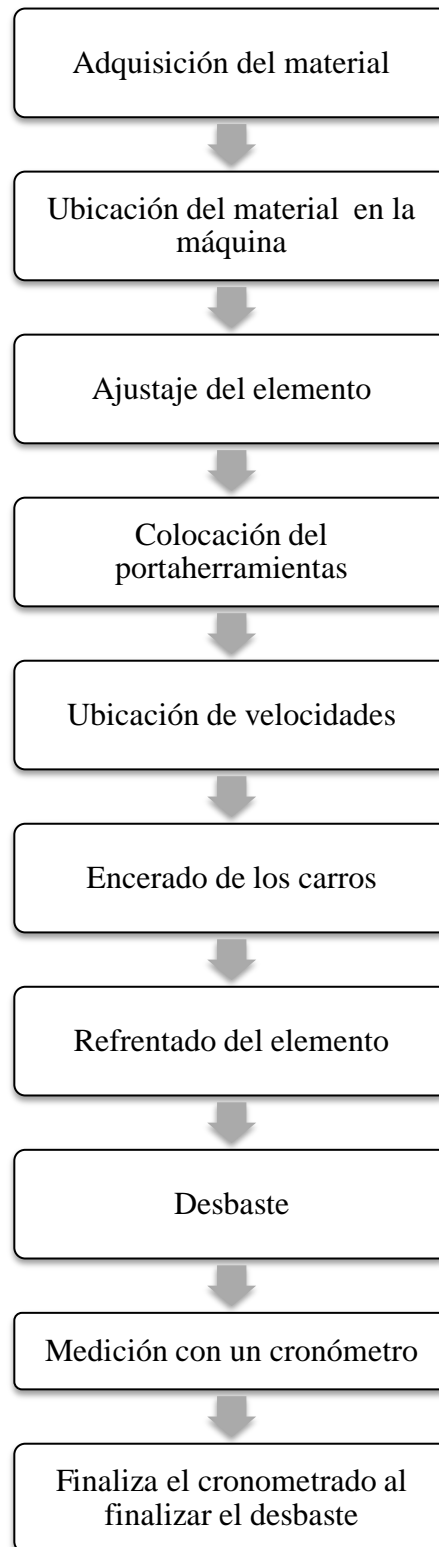
## 2.2.4 Procedimiento metodológico de la evaluación del tiempo



**Figura 2.4.** Diagrama de evaluación del tiempo de torneado



**Figura 2.5.** Diagrama de evaluación del tiempo de fresado



**Figura 2.6.** Diagrama práctico de la evaluación del



### 2.2.5 Población

En esta investigación se realiza con insertos de diferentes marcas que serán utilizadas para desbaste por arranque de viruta de acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM.

### 2.2.6 Muestra

Según las condiciones del proyecto se realizó un muestreo no probabilístico tomando como muestra los 8 insertos 4 de torno y 4 de fresado, con una probeta por inserto, realizando el proceso experimental requerido.

Se realizaron 12 pruebas de torneado y 12 pruebas de fresado, variando el tipo de material consumible, el material base fue acero ASTM A743 y el cual tiene material de aporte para reparación con soldadura ER312 y ER410

Prueba tipo de mecanizado para torneado. Se desbaste una longitud de 20 mm en un eje de diámetro 57 mm, con 8 pasadas de 0.5mm.

Prueba tipo de mecanizado para fresado. Se planeó un área de 52 mm x 96 mm en placas de espesor 30 mm, con 3 pasadas de 1mm.

### 2.2.7 Operacionalización de variables

**Variable independiente:** durabilidad de los insertos

Conceptualización	Categorías	Indicadores	Índice	Técnicas e instrumentos
La durabilidad de los insertos se mide a través de la ecuación de Taylor donde la velocidad de corte tiene relación directa e indirecta con la velocidad de avance y profundidad.	Parámetros de torneado	Velocidad de avance  Profundidad de pasada	800 mm/min  0.5 mm	-Observación directa -Bibliografía -Método experimental -Ensayos -Registros
	Parámetros de fresado	Velocidad de corte	150-250 m/min	

**Variable dependiente:** Costo de mecanizado

<b>Conceptualización</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índice</b>	<b>Técnicas e instrumentos</b>
Periodo durante el cual se espera utilizar una herramienta bajo un criterio de eficiencia económica o funcionamiento.	Costos de consumibles	Costos de materiales Insertos	\$16.00 c/u	-Observación -Ecuaciones
	Costos de máquinas y equipos	Costos de uso de maquinaria Costo de energía	\$ 96,00	




## CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Características del metal base

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA			
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL MATERIAL BASE</b>			
<b>Ejecutado por:</b>	Ing. Mayra Salazar	<b>Operario</b>	Stalin Chicaiza
<b>Lugar de la práctica</b>	CIRT-CELEC EP	<b>Fecha de ejecución</b>	03/02/2021
<b>CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL BASE</b>			
Especificaciones del material	ASTM A743		
Tipo o grado:	CA6-NM		
Resistencia a la tracción (MPa)	755		
Resistencia a la fluencia (Mpa)	550		
Elongación en 50 mm (%)	15		
Reducción de área mínima (%)	35		
Dureza Brinell (HBW)	Max 285		
<b>ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A MECANIZAR</b>			
Velocidad de corte			
La velocidad de corte recomendada mínimo, para maquinarse una pieza según [17], para desbaste es 15 m/min y terminado 23 m/min.			
<b>Micro estructura del Acero ASTM A743</b>			
			

**Figura 3.1.** Estructura martensítica del ASTM A743. [30]

### 3.2 Características del material de aporte

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>MAESTRÍA EN MECÁNICA</b> <b>MENCIÓN: MANUFACTURA</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL MATERIAL BASE</b>					
<b>Ejecutado por:</b>	Ing. Mayra Salazar	<b>Operario</b>	Stalin Chicaiza		
<b>Lugar de la práctica</b>	CIRT-CELEC EP	<b>Fecha de ejecución</b>	03/02/2021		
<b>CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL BASE</b>					
Especificaciones del material		ER410			
Operación recomendada		Fusionar aceros inoxidable			
Temperatura de precalentamiento		200°C			
Gas de protección		Argón			
Posiciones de soldaduras recomendadas		Todas			
Proceso de empleo		TIG			
<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>					
	<b>%C</b>	<b>%Cr</b>	<b>%Ni</b>	<b>%Mo</b>	<b>%Mn</b>
Requerimiento AWS ER410	0.12 máx.	11.5 - 13.5	0.06 máx.	0.75 máx.	0.6 máx
Resultados Típicos. <sup>(2)</sup>	0.11	12.5	0.1	0.03	0.45
	<b>%Si</b>	<b>%P</b>	<b>%S</b>	<b>%Cu</b>	
Requerimiento AWS ER410	0.5 máx.	0.03 máx.	0.03 máx.	0.75 máx.	
Resultados Típicos. <sup>(2)</sup>	0.39	0.01	0.01	0.14	
<b>PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES</b>					
					
	<b>Diámetro</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Corriente</b>	<b>Flujo de Gas</b>	<b>Gas</b>
<b>PROCESO</b>	pulg. (mm)	(Volts)	(Amp)		
<b>TIG</b>	1/16 (1.6) 3/32 (2.4) 1/8 (3.2)		60-85 120-175 150-220	20-40 CFH	100% Argón

**Figura 3.2.** Material de aporte ER410. [31]



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



MAESTRÍA EN MECÁNICA  
MENCIÓN: MANUFACTURA

**DATOS INFORMATIVOS DEL MATERIAL BASE**

<b>Ejecutado por:</b>	Ing. Mayra Salazar	<b>Operario</b>	Stalin Chicaiza
<b>Lugar de la práctica</b>	CIRT-CELEC EP	<b>Fecha de ejecución</b>	03/02/2021

**CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL BASE**

Especificaciones del material	ER312
Operación recomendada	Fusionar materiales de alta resistencia
Temperatura máxima de calentamiento	420°C
Gas de protección	Argón
Posiciones de soldaduras recomendadas	Todas
Proceso de empleo	TIG

**COMPOSICIÓN QUÍMICA**

	%C	%Cr	%Ni	%Mo	%Mn
Requerimiento AWS ER312	0.15 máx.	28.0 – 32.0	8.0 - 10.5	0.75 máx.	1.0 - 2.5
Resultados Típicos. <sup>(2)</sup>	0.11	29.6	8.9		1.6
	%Si	%P	%S	%Cu	NF
Requerimiento AWS ER312	0.30 - 0.65	0.03 máx.	0.03 máx.	0.75 máx.	No Requerido
Resultados Típicos. <sup>(2)</sup>	0.44	0.02	0.01	0.10	50 – 80

**PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES**



PROCESO	Diámetro pulg. (mm)	Voltaje (Volts)	Corriente (Amp)	Flujo de Gas	Gas
<b>TIG</b>	1/16 (1.6) 3/32 (2.4) 1/8 (3.2)		90-130 120-175 150-220	20-40 CFH	100% Argón

**Figura 3.3.** Material de aporte ER312. [31]

## 2.2.8 Hoja técnica sobre el ensayo del rugosímetro

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA					
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL MATERIAL BASE</b>					
<b>Ejecutado por:</b>		Ing. Mayra Salazar		<b>Supervisado por:</b>	
				Ing. Carlos Guerra	
<b>Lugar de la práctica</b>		CIRT-CELEC EP		<b>Fecha de ejecución</b>	
				03/02/2021	
<b>CARACTERÍSTICAS A SELECCIONAR</b>					
Rugosímetro			Taylor-Hobson		
Rango de medición			0,05-10,00 $\mu\text{m}$		
Precisión de la medición			Máx. 6 %		
Alcance			(0,3 – 100) $\mu\text{m}$		
Tipo de medición			Manual		
Voltaje			110 V		
<b>Resolución</b>					
Rango de medición < 10 $\mu$			0,001 $\mu$		
Rango de medición < 100 $\mu\text{m}$			0,01 $\mu$		
Rango de medición $\geq$ 100 $\mu\text{m}$			0,1 $\mu$		
<b>Sensor</b>					
Fuerza de medida			16 mN (1,6gf)		
Modo de medición			Principio de inducción		
Radio del sensor			10 $\mu\text{m}$		
<b>Velocidad de medición</b>					
Longitud de medición = 0,25 mm			Vt = 0,135 mm/s		
Temperatura ambiental permitida			0 ... +50 °C		
Humedad ambiental permitida			< 80%		
Dimensiones			140x52x48		
Peso			280 g		
<b>PROCEDIMIENTO</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Encendido del rugosímetro</li> <li>- Compruebe los ajustes de medición antes de empezar</li> <li>- Comprueba la longitud de frecuencia</li> <li>- Limpieza del elemento a medir</li> <li>- Colocación del sensor en la posición vertical con un ángulo de 90°</li> <li>- Ajuste de la longitud de la medición</li> </ul>					

<b>RESULTADOS</b>				
Placas Insertos para Torneado				
<b>Estado</b>	<b># Ensayo</b>	<b>Código</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Desgaste del flanco (mm)</b>
Acero ASTM A743	1	TD1	1	0,4
	2	TD2	0,89	0,35
	3	TD3	2,9	0,4
	4	TD4	1,88	0,7
Combinación de Acero ASTM A743 con soldadura ER410	5	TD1	0,99	0,33
	6	TD2	0,82	0,32
	7	TD3	2,8	0,35
	8	TD4	1,85	0,65
Combinación de Acero ASTM A743 con soldadura ER312	9	TD1	0,98	0,31
	10	TD2	0,8	0,3
	11	TD3	2,77	0,32
	12	TD4	1,8	0,6
Placas Insertos para Fresado				
<b>Estado</b>	<b># Ensayo</b>	<b>Código</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Desgaste del flanco (mm)</b>
Acero ASTM A743	1	FD1	2,5	0,3
	2	FD2	6,03	0,35
	3	FD3	3,75	0,55
	4	FD4	1,9	0,89
Combinación de Acero ASTM A743 con soldadura ER410	5	FD1	2,43	0,17
	5	FD2	5,83	0,25
	6	FD3	3,64	0,4
	8	FD4	1,9	0,5
Combinación de Acero ASTM A743 con soldadura ER312	9	FD1	2,38	0,1
	10	FD2	5,78	0,1
	11	FD3	3,53	0,2
	12	FD4	1,75	0,42

### 3.3 Selección de parámetros de corte para torneado

Los parámetros de corte a determinar para el torneado es la velocidad de corte, así como el tiempo de maquinado.

Por lo que se emplean las siguientes denominaciones:

- TD1 = Herramienta de corte para torno tipo #1
- TD2 = Herramienta de corte para torno tipo # 2
- TD3 = Herramienta de corte para torno tipo # 3
- TD 4 = Herramienta de corte para torno tipo # 4
- FD1 = Herramienta de corte para fresado tipo # 1
- FD2 = Herramienta de corte para fresado tipo # 2
- FD3 = Herramienta de corte para fresado tipo # 3
- FD4 = Herramienta de corte para fresado tipo # 4

Las 8 herramientas de corte tienen recubrimiento CVD, que significa recubrimientos de deposición química en fase de vapor, donde las herramientas usadas para tornear tienen una forma rómbica a 55°, con un ángulo de incidencia de 0°; en tanto que las herramientas para fresar con de forma rectangular con un ángulo de ataque de 90°, se detalla además que las longitudes de filo de todos los insertos tienen 1,02 mm; empleada para maquinar aceros inoxidables como los martensíticos, las cuales están dispuestas en el mercado nacional comerciales.

#### 3.3.1 Acero Inoxidable A743

**Tabla 3.1.** Velocidad de corte en función del tiempo de mecanizado. #1

<b>Denominación</b>	<b>Vc (m/min)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
TD1	225	1,00
TD2	270	0,82
TD3	100	2,90
TD4	250	1,88



### 3.3.2 Acero Inoxidable A743 con soldadura ER410

**Tabla 3.2.** Velocidad de corte en función del tiempo de mecanizado. #2

<b>Denominación</b>	<b>Vc (m/min)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
TD1	225	0,99
TD2	270	0,80
TD3	100	2,77
TD4	250	1,80

### 3.3.3 Acero Inoxidable A743 con soldadura ER312

**Tabla 3.3.** Velocidad de corte en función del tiempo de mecanizado. #3

<b>Denominación</b>	<b>Vc (m/min)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
TD1	225	0,98
TD2	270	0,89
TD3	100	2,80
TD4	250	1,85

## 3.4 Selección de parámetros de corte para fresado

Los parámetros de corte a determinar para el fresado es la velocidad de corte, así como el tiempo de maquinado.

### 3.4.1 Fresado en Acero Inoxidable A743

**Tabla 3.4.** Velocidad de corte en función del tiempo de fresado. #1

<b>Denominación</b>	<b>Vc (m/min)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
FD1	120	2,5
FD2	120	6,03
FD3	235	3,75
FD4	400	1,90

### 3.4.2 Fresado en Acero Inoxidable A743 con soldadura ER410

Tabla 3.5. Velocidad de corte en función del tiempo de fresado. #2

Denominación	Vc (m/min)	Tiempo (min)
FD1	120	2,38
FD2	120	5,83
FD3	235	3,53
FD4	400	1,90

### 3.4.3 Fresado en Acero Inoxidable A743 con soldadura ER312

Tabla 3.6. Velocidad de corte en función del tiempo de fresado. #3

Denominación	Vc (m/min)	Tiempo (min)
FD1	120	2,43
FD2	120	5,78
FD3	235	3,64
FD4	400	1,75

## 3.5 Comparación del resultado teóricos del Número de Revoluciones con el Tiempo Teórico durante el torneado.

### 3.5.1 Determinación de los números de revoluciones teóricos del torneado

$$N = \frac{1000 * v}{\pi * D}$$

Donde:

- N = Numero de revoluciones (rpm)
- V = Velocidad de corte
- D = Diámetro (mm)

Por lo que para TD4 se tiene que:

$$N = \frac{1000 * 250 \frac{m}{min}}{\pi * 57 mm}$$

$$N = 1396,10 \text{ rpm}$$

Mientras que para TD1 se tiene que:

$$N = \frac{1000 * 225 \frac{m}{min}}{\pi * 57 mm}$$

$$N = 1256,49 \text{ rpm}$$

En tanto que para TD3 se tiene que:

$$N = \frac{1000 * 100 \frac{m}{min}}{\pi * 57 mm}$$

$$N = 558,44 \text{ rpm}$$

Finalmente, para TD2 se tiene que:

$$N = \frac{1000 * 270 \frac{m}{min}}{\pi * 57 mm}$$

$$N = 1507,78 \text{ rpm}$$

### 3.5.2 Determinación de los tiempos teóricos del torneado

$$T = \frac{L (mm)}{N (rpm) * f(\frac{mm}{rev})}$$

Donde:

- T = Tiempo teórico (min)
- N = Numero de revoluciones (rpm)
- f = Avance (mm/rev)
- L = Longitud Total (mm)

Por lo que para FD4 se tiene que:

$$T = \frac{320 \text{ mm}}{1396,10 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * 0,12 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}} = 1,91 \text{ min}$$

Mientras que para TD1 se tiene que:

$$T = \frac{320 \text{ mm}}{1256,49 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * 0,25 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}} = 1,02 \text{ min}$$

En tanto que para TD3 se tiene que:

$$T = \frac{320 \text{ mm}}{558,44 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * 0,2 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}} = 2,87 \text{ min}$$

Finalmente, para TD2 se tiene que:

$$T = \frac{320 \text{ mm}}{1507,78 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * 0,25 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}} = 0,85 \text{ min}$$

### 3.5.3 Comparación de resultados del torneado

#### 3.5.3.1 Número de Revoluciones del Torneado

**Tabla 3.7.** Comparación de Número de Revoluciones del Acero A743

<b>Denominación</b>	<b>Numero de revoluciones Práctico (rpm)</b>	<b>Numero de revoluciones Teórico (rpm)</b>	<b>Error Porcentual (%)</b>
TD1	1251	1256,49	0,44
TD2	1554	1507,78	2,97
TD3	582	558,44	4,05
TD4	1391	1396,10	0,37

**Tabla 3.8.** Comparación de Número de Revoluciones del Acero A743 con ER410

<b>Denominación</b>	<b>Numero de revoluciones Práctico (rpm)</b>	<b>Numero de revoluciones Teórico (rpm)</b>	<b>Error Porcentual (%)</b>
TD1	1184	1256,49	5,77
TD2	1500	1507,78	0,52
TD3	541,00	558,44	3,12
TD4	1345	1396,10	3,66

**Tabla 3.9.** Comparación de Número de Revoluciones del Acero A743 con ER312

<b>Denominación</b>	<b>Numero de revoluciones Práctico (rpm)</b>	<b>Numero de revoluciones Teórico (rpm)</b>	<b>Error Porcentual (%)</b>
TD1	1184	1256,49	5,77
TD2	1500	1507,78	0,52
TD3	541,00	558,44	3,12
TD4	1326,10	1396,10	5,01

Mientras que la comparación del tiempo teórico con el práctico es:

### 3.5.3.2 Tiempos de torneado

**Tabla 3.10.** Tiempos de maquinado en Acero Inoxidable A743

<b>Denominación</b>	<b>Tiempo de mecanizado experimental (min)</b>	<b>Tiempo de mecanizado teórico (min)</b>	<b>Error Porcentual (%)</b>
TD1	1,00	1,02	1,96
TD2	0,82	0,85	3,53
TD3	2,80	2,87	2,44
TD4	1,88	1,91	1,57

**Tabla 3.11.** Tiempos de maquinado en Acero Inoxidable A743 con ER410

<b>Denominación</b>	<b>Tiempo de mecanizado experimental (min)</b>	<b>Tiempo de mecanizado teórico (min)</b>	<b>Error Porcentual (%)</b>
TD1	0,99	1,02	2,94
TD2	0,90	0,85	5,56
TD3	2,77	2,87	3,48
TD4	1,80	1,91	5,76

**Tabla 3.12.** Tiempos de maquinado en Acero Inoxidable A743 con ER 312

<b>Denominación</b>	<b>Tiempo de mecanizado experimental (min)</b>	<b>Tiempo de mecanizado teórico (min)</b>	<b>Error Porcentual (%)</b>
TD1	0,98	1,02	3,92
TD2	0,89	0,85	4,49
TD3	2,80	2,87	2,44
TD4	1,85	1,91	3,14

### 3.6 Comparación del resultado teóricos del Número de Revoluciones con el Tiempo Teórico durante el fresado

#### 3.6.1 Determinación de los números de revoluciones teóricos durante el fresado

$$N = \frac{1000 * v}{\pi * D}$$

Donde:

- N = Numero de revoluciones (rpm)
- V = Velocidad de corte
- D = Diámetro (mm)

Por lo que para herramienta FD1 se tiene que:

$$N = \frac{1000 * 120 \frac{m}{min}}{\pi * 50 \text{ mm}}$$

$$N = 763,94 \text{ rpm}$$

En tanto que para la herramienta FD2 se tiene que:

$$N = \frac{1000 * 120 \frac{m}{min}}{\pi * 20 \text{ mm}}$$

$$N = 1909,86 \text{ rpm}$$

Mientras que para la herramienta FD3, se tiene que:

$$N = \frac{1000 * 235 \frac{m}{min}}{\pi * 20 \text{ mm}}$$

$$N = 3740,14 \text{ rpm}$$

Finalmente, se tiene que para la herramienta FD4 se tiene que:

$$N = \frac{1000 * 400 \frac{m}{min}}{\pi * 20 \text{ mm}}$$

$$N = 6366,20 \text{ rpm}$$

### 3.6.2 Determinación de los tiempos teóricos del fresado

Por lo que el tiempo teórico es:

$$T = \frac{L \text{ (mm)}}{v_f \left( \frac{mm}{min} \right)}$$

Donde:

- T = Tiempo teórico (min)
- L = Longitud Total (mm)
- $v_f$  = Avance de la mesa (mm/min)

Por lo que para herramienta FD1 se tiene que:

$$T = \frac{952,5 \text{ mm}}{381 \frac{mm}{min}}$$

$$T = 2,5 \text{ min}$$

En tanto que para la herramienta FD2, se tiene que:

$$T = \frac{2805 \text{ mm}}{468 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}$$

$$T = 5,99 \text{ min}$$

Mientras que para la herramienta FD3 se tiene que:

$$T = \frac{2805 \text{ mm}}{748 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}$$

$$T = 3,75 \text{ min}$$

Finalmente, se tiene que para la herramienta FD4 se tiene que:

$$T = \frac{2805 \text{ mm}}{1520 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}$$

$$T = 1,85 \text{ min}$$

Por lo que al comparar lo teórico con lo practico se tiene que, el Numero de revoluciones (rpm), es:

### 3.6.3 Comparación de resultados del fresado

#### 3.6.3.1 Número de Revoluciones del fresado

**Tabla 3.13.** Comparación de Número de Revoluciones del Acero A743 durante el fresado

<b>Denominación</b>	<b>Numero de revoluciones Teórico (rpm)</b>	<b>Numero de revoluciones Práctico (rpm)</b>	<b>Error Porcentual (%)</b>
FD1	763,94	764	0,01
FD2	1909,86	1910	0,01
FD3	3740,14	3740	0,004
FD4	6366,20	6366	0,003



**Tabla 3.14.** Comparación de Número de Revoluciones del Acero A743 con ER410 durante el fresado

<b>Denominación</b>	<b>Numero de revoluciones Teórico (rpm)</b>	<b>Numero de revoluciones Práctico (rpm)</b>	<b>Error Porcentual (%)</b>
FD1	763,94	764	0,01
FD2	1909,86	1910	0,01
FD3	3740,14	3740	0,004
FD4	6366,20	6366	0,003

**Tabla 3.15.** Comparación de Número de Revoluciones del Acero A743 con ER312 durante el fresado

<b>Denominación</b>	<b>Numero de revoluciones Teórico (rpm)</b>	<b>Numero de revoluciones Práctico (rpm)</b>	<b>Error Porcentual (%)</b>
FD1	763,94	764	0,01
FD2	1909,86	1910	0,01
FD3	3740,14	3740	0,004
FD4	6366,20	6366	0,003

### 3.6.3.2 Tiempos durante el fresado

Por lo que la comparación del tiempo teórico con el práctico es:

**Tabla 3.16.** Comparación de Tiempos de maquinado del Acero A743 durante el fresado

<b>Denominación</b>	<b>Tiempo de mecanizado experimental (min)</b>	<b>Tiempo de mecanizado teórico (min)</b>	<b>Error Porcentual (%)</b>
FD1	2,5	2,5	0,00
FD2	6,03	5,99	0,66
FD3	3,75	3,75	0,00
FD4	1,90	1,85	2,63

**Tabla 3.17.** Comparación de Tiempos de maquinado del Acero A743 con ER410 durante el fresado

<b>Denominación</b>	<b>Tiempo de mecanizado experimental (min)</b>	<b>Tiempo de mecanizado teórico (min)</b>	<b>Error Porcentual (%)</b>
FD1	2,38	2,5	4,80
FD2	5,83	5,99	2,62
FD3	3,53	3,75	5,87
FD4	1,90	1,85	2,63

**Tabla 3.18.** Comparación de Tiempos de maquinado del Acero A743 con ER312 durante el fresado

<b>Denominación</b>	<b>Tiempo de mecanizado experimental (min)</b>	<b>Tiempo de mecanizado teórico (min)</b>	<b>Error Porcentual (%)</b>
FD1	2,43	2,5	2,80
FD2	5,78	5,99	3,51
FD3	3,64	3,75	2,93
FD4	1,75	1,85	5,41

### 3.7 Recolección de Variables

**Tabla 3.19.** Datos informativos para el torno / fresadora

<b>Denominación de la pieza:</b> Eje / Placa	<b>Producción:</b> 3	<b>Piezas:</b> Mes
<b>Grupo de material:</b> Acero Martensítico	<b>Tipo:</b> Laminado	<b>Dureza:</b> Máx 285 HB
<b>Tipo de torneado:</b> Gran desbaste	<b>Corte Ininterrumpido:</b> No	
<b>Máquina:</b> Torno / Fresadora	<b>Hora máq.:</b> \$ 10 / \$ 15	<b>Potencia:</b> 18,5 kW

Por lo que los datos informativos de las plaquitas para el torno son:

**Tabla 3.20.** Datos informativos de la plaquita TD1 para el torno

<b>Detalle</b>	<b>Método</b>
Código	<b>TD1</b>
Velocidad de corte <b>V<sub>c</sub></b> (m/min):	225
Diámetro pieza <b>D</b> (mm):	61
RPM <b>n</b> :	1251
Avance <b>f</b> (mm/rev):	0,25
Avance <b>f</b> (mm/min):	313
Prof. de corte <b>a<sub>p</sub></b> (mm):	4,00
Longitud de pieza (mm):	20
Número de pasadas:	8
Tiempo de torneado (horas):	0,07
Vol. viruta/arista y hora (dm <sup>3</sup> ):	004 / 15,33
Tipo de desgaste:	Desgaste Lateral
Criterio de Cambio:	Desgaste de Herramienta

**Tabla 3.21.** Datos informativos de la plaquita TD2 para el torno

<b>Detalle</b>	<b>Método</b>
Código	<b>TD2</b>
Velocidad de corte <b>V<sub>c</sub></b> (m/min):	270
Diámetro pieza <b>D</b> (mm):	61
RPM <b>n</b> :	1554
Avance <b>f</b> (mm/rev):	0,25
Avance <b>f</b> (mm/min):	389
Prof. de corte <b>a<sub>p</sub></b> (mm):	4,00
Longitud de pieza (mm):	20
Número de pasadas:	8
Tiempo de corte/pieza (min):	0,82
Tiempo de cambio de hta. (min):	1
Tiempo de torneado (horas):	0,06
Vol. viruta/arista y hora(dm <sup>3</sup> ):	005 / 19,04
Tipo de desgaste:	Desgaste Lateral
Criterio de Cambio:	Desgaste de Herramienta

**Tabla 3.22.** Datos informativos de la plaquita TD3 para el torno

<b>Detalle</b>	<b>Método</b>
Código	<b>TD3</b>
Velocidad de corte <b>V<sub>c</sub></b> (m/min):	100
Diámetro pieza <b>D</b> (mm):	61
RPM <b>n</b> :	582
Avance <b>f</b> (mm/rev):	0,20
Avance <b>f</b> (mm/min):	116
Prof. de corte <b>a<sub>p</sub></b> (mm):	4,00
Longitud de pieza (mm):	20
Número de pasadas:	8
Tiempo de corte/pieza (min):	2,90
Tiempo de cambio de hta. (min):	1
Tiempo de torneado (horas):	0,16
Vol. viruta/arista y hora(dm <sup>3</sup> ):	001 / 5,71
Tipo de desgaste:	Desgaste Lateral
Criterio de Cambio:	Desgaste de Herramienta

**Tabla 3.23.** Datos informativos de la plaquita TD4 para el torno

<b>Detalle</b>	<b>Método</b>
Código	<b>TD4</b>
Velocidad de corte <b>V<sub>c</sub></b> (m/min):	250
Diámetro pieza <b>D</b> (mm):	61
<b>RPM n:</b>	1391
Avance <b>f</b> (mm/rev):	0,12
Avance <b>f</b> (mm/min):	167
Prof. de corte <b>ap</b> (mm):	4,00
Longitud de pieza (mm):	20
Número de pasadas:	8
Tiempo de corte/pieza (min):	1,88
Tiempo de cambio de hta. (min):	1
Tiempo de torneado (horas):	0,11
Vol. viruta/arista y hora(dm <sup>3</sup> ):	001 / 8,18
Tipo de desgaste:	Desgaste Lateral
Criterio de Cambio:	Desgaste de Herramienta

Mientras que los datos informativos de las plaquitas para el fresado son:

**Tabla 3.24.** Datos informativos de la plaquita FD1 para la fresadora

<b>Detalle</b>	<b>Método</b>
Código	<b>FD1</b>
Velocidad de corte <b>V<sub>c</sub></b> (m/min):	120
Dimensiones de la placa (mm):	52 x 96
<b>RPM n:</b>	764
Avance <b>f</b> (mm/rev):	0,12
Avance <b>f</b> (mm/min):	381
Prof. de corte <b>ap</b> (mm):	1,00
Longitud de pieza (mm):	96
Número de pasadas:	3
Tiempo de corte/pieza (min):	2,50
Tiempo de cambio de hta. (min):	1
Tiempo de fresado/producción (horas):	0,14
Vol. viruta/arista y hora(dm <sup>3</sup> ):	004 / 6,97
Tipo de desgaste:	Desgaste Lateral
Criterio de Cambio:	Desgaste de Herramienta

**Tabla 3.25.** Datos informativos de la plaquita FD2 para la fresadora

<b>Detalle</b>	<b>Método</b>
Código	<b>FD2</b>
Velocidad de corte <b>V<sub>c</sub></b> (m/min):	120
Dimensiones de la placa (mm):	52 x 96
<b>RPM n:</b>	1910
Avance <b>f</b> (mm/rev):	0,10
Avance <b>f</b> (mm/min):	458
Prof. de corte <b>ap</b> (mm):	1,00
Longitud de pieza (mm):	96
Número de pasadas:	3
Tiempo de corte/pieza (min):	6,03
Tiempo de cambio de hta. (min):	1
Tiempo de fresado/producción (horas):	0,32
Vol. viruta/arista y hora(dm <sup>3</sup> ):	009 / 8,38
Tipo de desgaste:	Desgaste Lateral
Criterio de Cambio:	Desgaste de Herramienta



**Tabla 3.26.** Datos informativos de la plaquita FD3 para la fresadora

<b>Detalle</b>	<b>Método</b>
Código	<b>FD3</b>
Velocidad de corte <b>V<sub>c</sub></b> (m/min):	235
Dimensiones de la placa (mm):	52 x 96
<b>RPM n:</b>	3740
Avance <b>f</b> (mm/rev):	0,13
Avance <b>f</b> (mm/min):	748
Prof. de corte <b>ap</b> (mm):	1,00
Longitud de pieza (mm):	96
Número de pasadas:	3
Tiempo de corte/pieza (min):	3,75
Tiempo de cambio de hta. (min):	1
Tiempo de fresado/producción (horas):	0,20
Vol. viruta/arista y hora(dm <sup>3</sup> ):	009 /13,68
Tipo de desgaste:	Desgaste Lateral
Criterio de Cambio:	Desgaste de Herramienta

**Tabla 3.27.** Datos informativos de la plaquita FD4 para la fresadora

<b>Detalle</b>	<b>Método</b>
Código	<b>FD4</b>
Velocidad de corte <b>V<sub>c</sub></b> (m/min):	400
Dimensiones de la placa (mm):	52 x 96
<b>RPM n:</b>	6366
Avance <b>f</b> (mm/rev):	0,12
Avance <b>f</b> (mm/min):	1527
Prof. de corte <b>a<sub>p</sub></b> (mm):	1,00
Longitud de pieza (mm):	96
Número de pasadas:	3
Tiempo de corte/pieza (min):	1,90
Tiempo de cambio de hta. (min):	1
Tiempo de fresado/producción (horas):	0,11
Vol. viruta/arista y hora(dm <sup>3</sup> ):	009 /27,92
Tipo de desgaste:	Desgaste Lateral
Criterio de Cambio:	Desgaste de Herramienta

### **3.8 Procesamiento y Análisis**

#### **3.8.1 Desgaste y vida útil de las herramientas**

En operaciones de mecanizado las herramientas de corte, son los elementos que están sometidos a diferentes condiciones de corte, como son grandes esfuerzos mecánicos, fricción entre distintos materiales, durezas elevadas y muy altas temperaturas producidas por el rozamiento.

Los problemas de desgaste se dan por los siguientes procesos que son:

- Fallo por fractura, este es producido por una fuerza de corte no adecuada al material de la herramienta, por su forma geométrica no adecuada para el corte, o debido a impactos dado por cortes discontinuos.
- Fallo por temperatura, se da cuando la temperatura de trabajo de la herramienta es demasiado alta para el material, provocando ablandamiento, perdiendo su forma geométrica definida como pueden ser los ángulos de incidencia, el desprendimiento, radio de punta, entre otros, produciendo un acabado superficial indeseable.
- Desgaste progresivo, es el desgaste gradual de los filos de corte de la herramienta a emplear, producido por el rozamiento con la pieza.

### **3.8.2 Mecanismos de desgaste**

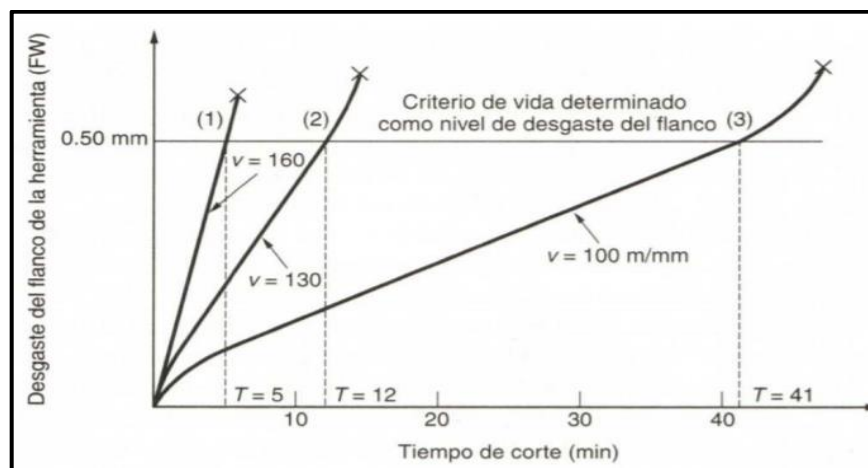
Los mecanismos de desgaste más comunes en los procesos por arranque de viruta son:

- Abrasión, la cual se da por rayadura debido a las partículas duras del material de la pieza, por lo que el desgaste se da principalmente en el flanco.
- Adhesión, se da al entrar en contacto la pieza a mecanizar con la herramienta a emplear, a altas temperaturas produciendo un desgaste de la superficie.
- Difusión, se da por el intercambio de átomos entre la superficie de contacto herramienta - pieza o herramienta-viruta, debido al agotamiento de la herramienta, produciendo cambios de sus propiedades geométricas, pérdida de dureza, dando un acabado ineficiente, volviéndose más susceptible de desgaste por abrasión y adhesión.
- Reacciones químicas, se dan por las altas temperaturas del maquinado, alcanzado en la unión pieza – herramienta, como son oxidación, repetición continua del ciclo producida por el desgaste de la herramienta.
- Deformación plástica, se da por las altas presiones y temperaturas sobre el filo de corte, deformándola y produciendo desgaste del flanco.

### 3.8.3 Estudio de Taylor

Es un método experimental, donde el desgaste gradual del flanco va en aumento el cual es conforme con el tiempo de corte, por lo que según la gráfica de tendencias de desgaste se da en función del tiempo, por lo que se puede distinguir las tres zonas diferenciadas, que son:

- Periodo de desgaste rápido inicial, se da cuando la herramienta produce un desgaste rápido al estar en contacto directo durante los primeros cortes.
- Periodo de desgaste estable, esta se da produce, cuando se da a una velocidad constante.
- Periodo de desgaste acelerado, esta se da cuando la velocidad de desgaste aumenta al inicio de la región de fallo, la cual se reduce por la geometría de la herramienta a emplear, elevando la temperatura, finalizando con los fallos de la herramienta el cual se da el final de la vida útil del elemento.

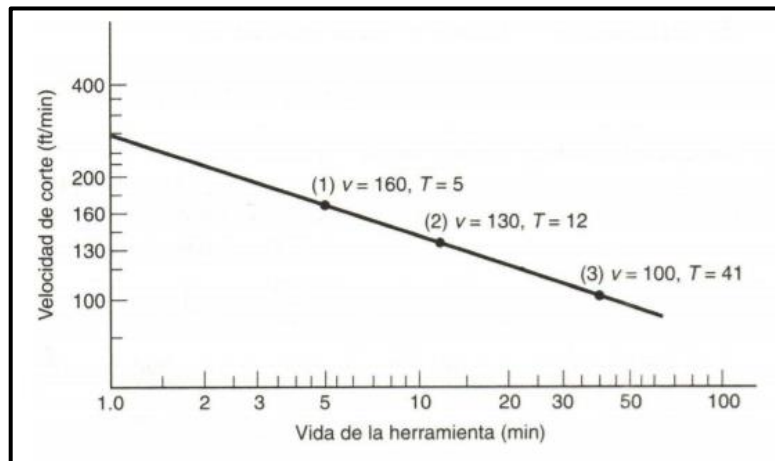


**Figura 3.1.** Curvaturas de tiempo vs desgaste del flanco con variación inicial [38]

Los factores que producen el desgaste de la herramienta son:

- Velocidad de corte
- Avance
- Profundidad de corte
- Materiales de la herramienta y la pieza
- El tiempo de mecanizado

El fenómeno del desgaste de la herramienta y la vida útil, dan valores de tipo logarítmicos obteniéndose una gráfica de tendencia de la vida útil frente a la velocidad de corte.



**Figura 3.2.** Pendiente velocidad de corte con vida de la herramienta. [38]

### 3.8.3.1 Aplicación de la ecuación de Taylor durante el torneado

Por lo que la ecuación de Tylor para la vida de las herramientas es:

$$vt^{-1/k} = C$$

Donde:

- v = Velocidad de corte (m/min)
- t = Vida útil de la herramienta (min)
- n= Pendiente de Tylor
- k = Constante
- C = Constante

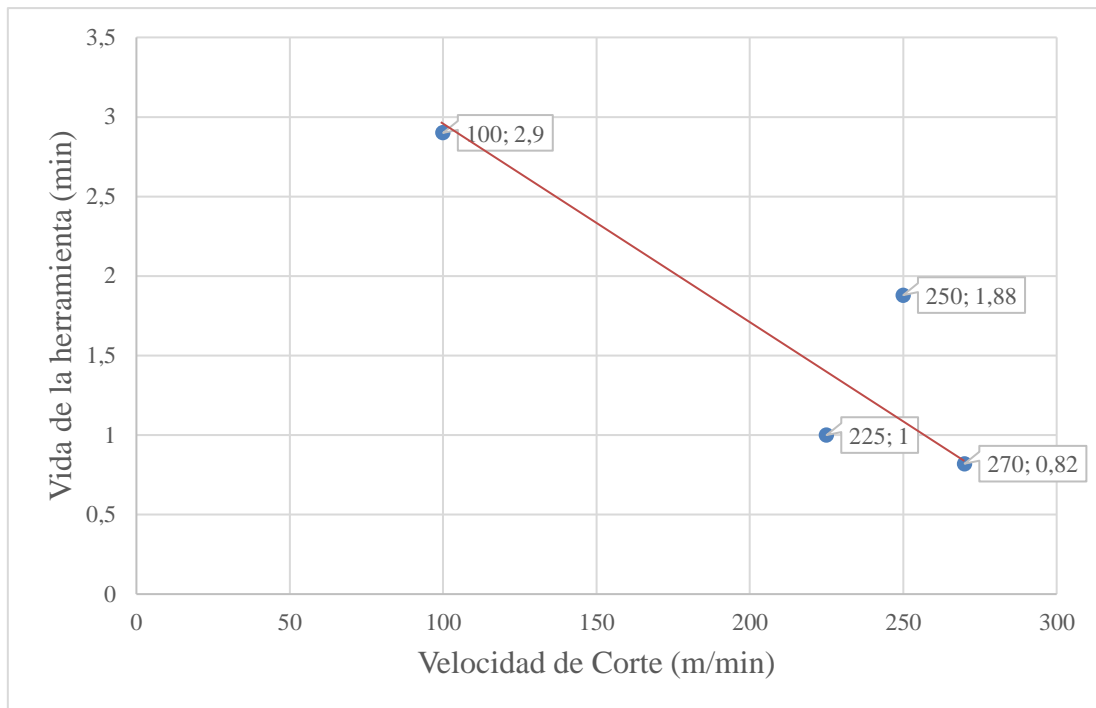
Para determinar la k, se emplea

$$k = \frac{\log(T2) - \log(T1)}{\log(v2) - \log(v1)}$$

$$n=-1/k$$

### 3.8.3.2 Aplicación de la ecuación de Taylor durante el torneado

La obtención de las curvas de Taylor en función del Acero Inoxidable A743 es:



**Figura 3.3.** Pendiente de Taylor en el Acero Inoxidable A743 durante el torneado.

$$k = \frac{\log(0,82) - \log(2,9)}{\log(270) - \log(100)} = -1,27$$

$$n = -\frac{1}{k} = +\frac{1}{1,27} = 0,79$$

$$vt^n = C$$

Por lo que las constantes C de Taylor es

Para la herramienta con denominación: TD1.

$$225 * 1^{0,79} = 225,00$$

Para la herramienta con denominación: TD2.

$$270 * 0,82^{0,79} = 230,82$$

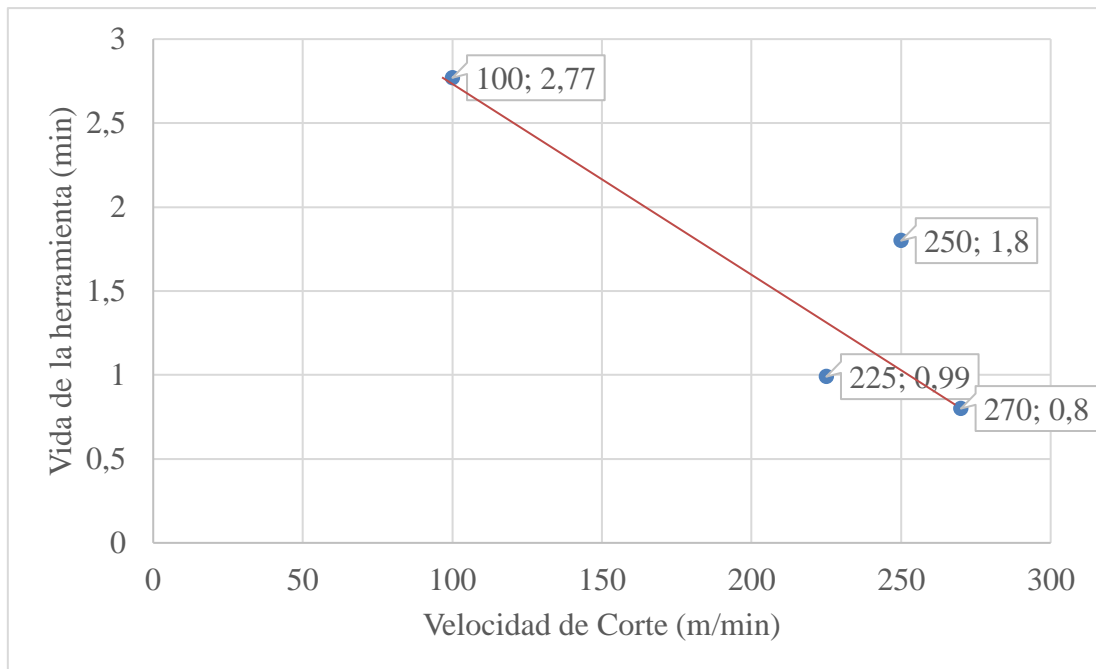
Para la herramienta con denominación: TD3.

$$100 * 2,9^{0,79} = 231,90$$

Para la herramienta con denominación: TD4.

$$250 * 1,88^{0,79} = 411,65$$

Mientras que durante la obtención de las curvas de Taylor del Acero Inoxidable A743 con soldadura ER410 da:



**Figura 3.4.** Pendiente de Taylor en el Acero Inoxidable A743 con ER 410 durante el torneado.

$$k = \frac{\log(0,8) - \log(2,77)}{\log(270) - \log(100)} = -1,25$$

$$n = -\frac{1}{k} = +\frac{1}{1,25} = 0,80$$

$$vt^n = C$$

Por lo que las constantes C de Taylor es

Para la herramienta con denominación: TD1.

$$225 * 0,99^{0,8} = 223,20$$

Para la herramienta con denominación: TD2.

$$270 * 0,8^{0,8} = 225,86$$

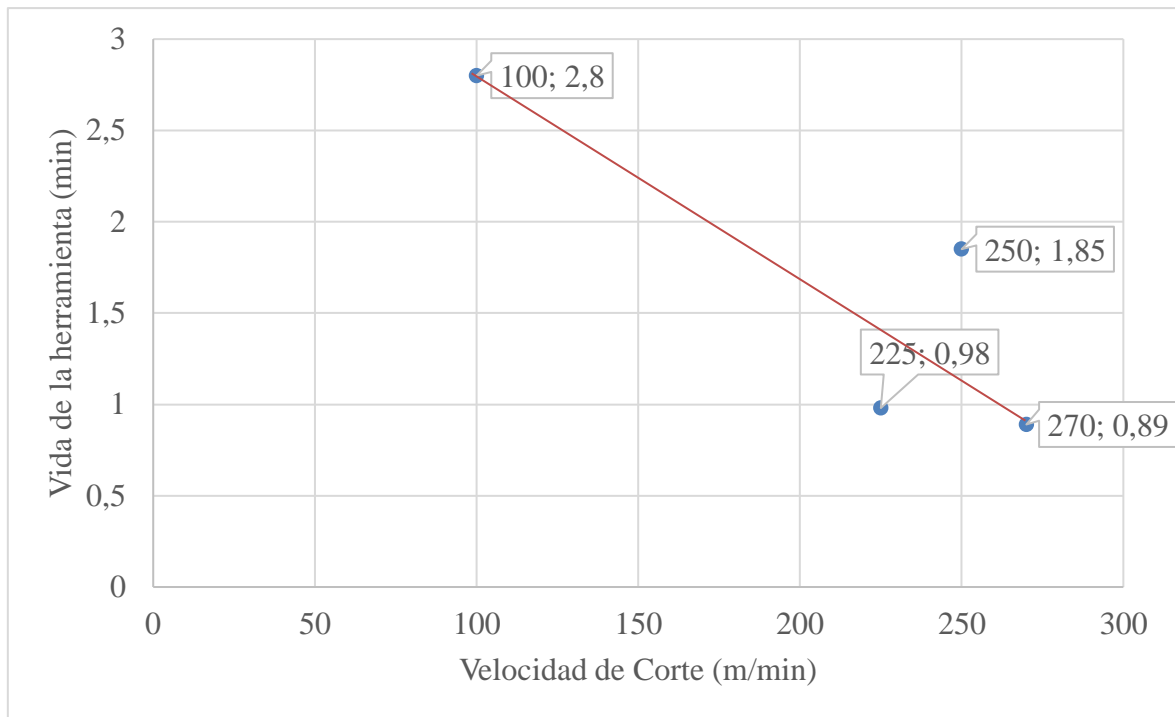
Para la herramienta con denominación: TD3.

$$100 * 2,77^{0,8} = 225,94$$

Para la herramienta con denominación: TD4.

$$250 * 1,8^{0,8} = 400,09$$

De igual manera durante la obtención de las curvas de Tylor del Acero Inoxidable A743 con soldadura ER312 da:



**Figura 3.5.** Pendiente de Taylor en el Acero Inoxidable A743 con ER 312 durante el torneado.

$$k = \frac{\log(0,89) - \log(2,8)}{\log(270) - \log(100)} = -1,15$$

$$n = -\frac{1}{k} = +\frac{1}{1,15} = 0,87$$

Por lo que las constantes C de Taylor es

Para la herramienta con denominación: TD1.

$$225 * 0,98^{0,87} = 221,08$$

Para la herramienta con denominación: TD2.

$$270 * 0,89^{0,87} = 243,97$$

Para la herramienta con denominación: TD3.

$$100 * 2,8^{0,87} = 244,92$$

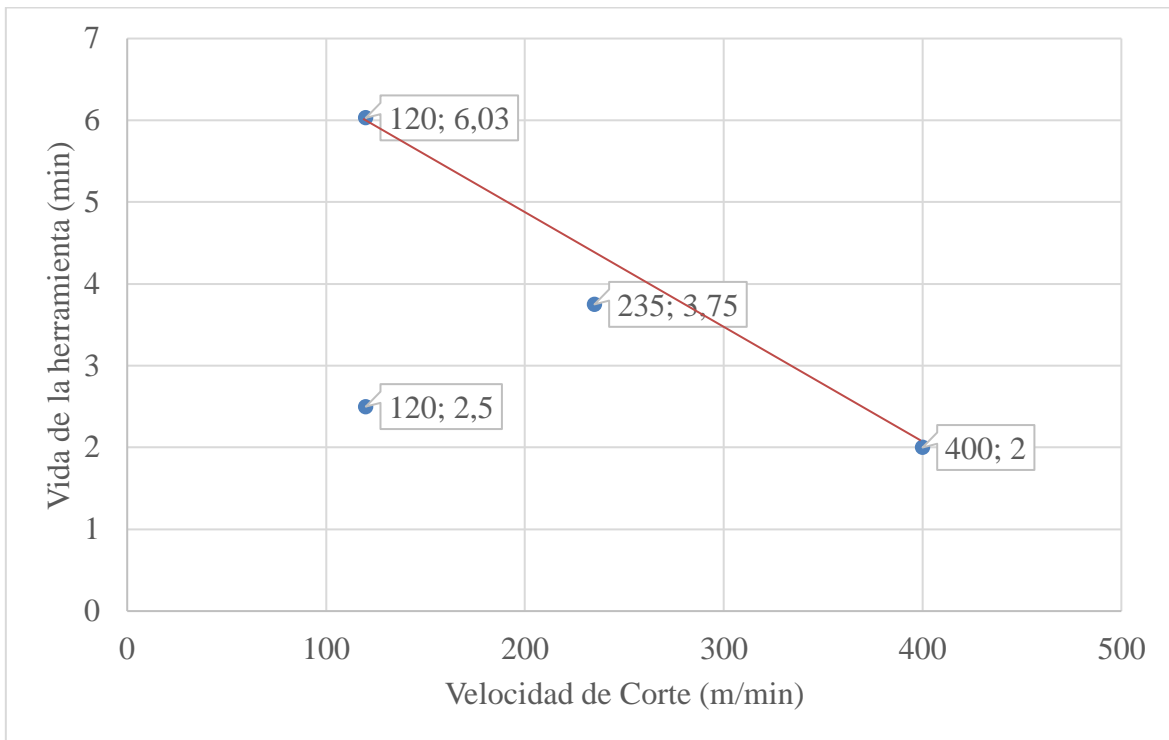
Para la herramienta con denominación: TD4.

$$250 * 1,85^{0,87} = 426,95$$



### 3.8.3.3 Aplicación de la ecuación de Taylor durante el fresado

De igual manera durante la obtención de las curvas de Taylor del Acero Inoxidable A743 da:



**Figura 3.6.** Pendiente de Taylor en el Acero Inoxidable A743 durante el fresado.

$$k = \frac{\log(2) - \log(6,03)}{\log(400) - \log(120)} = -0,92$$

$$n = -\frac{1}{k} = +\frac{1}{0,92} = 1,09$$

Por lo que las constantes C de Taylor es

Para la herramienta con denominación: FD1.

$$120 * 2,50^{1,09} = 325,79$$

Para la herramienta con denominación: FD2.

$$120 * 6,03^{1,09} = 850,60$$

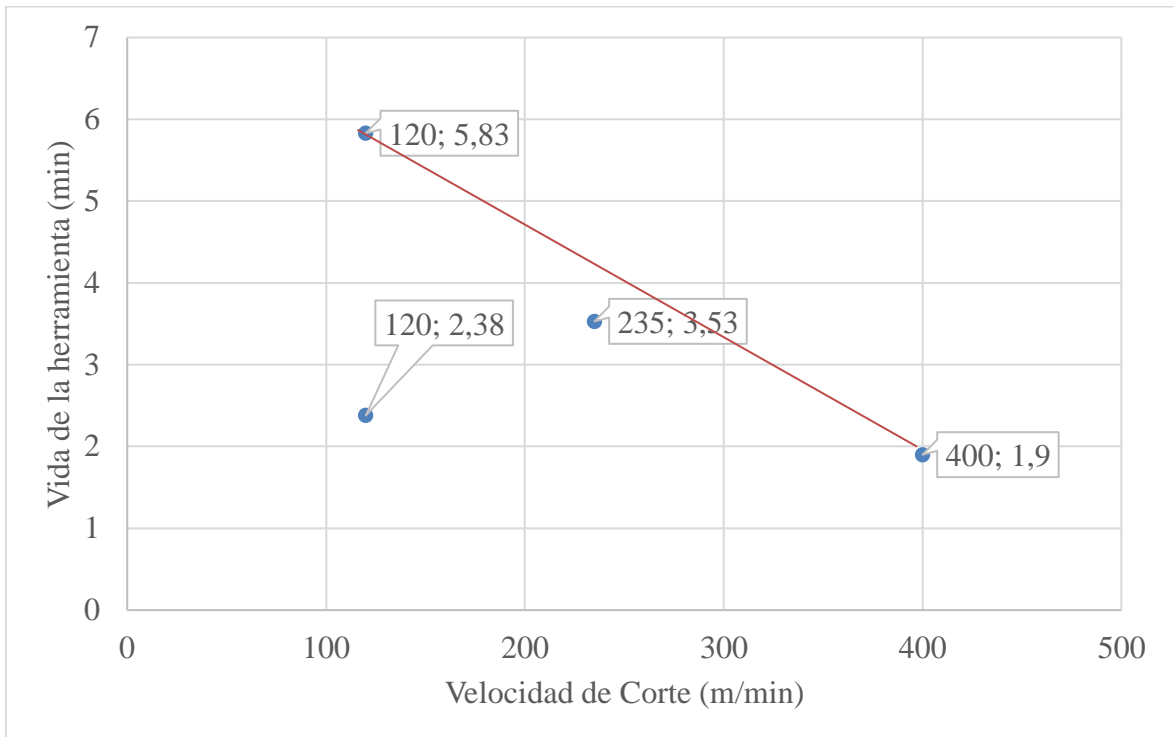
Para la herramienta con denominación: FD3.

$$235 * 3,75^{1,09} = 992,57$$

Para la herramienta con denominación: FD4.

$$400 * 2,00^{1,09} = 851,50$$

El siguiente paso es obtener las curvas de Tylor del Acero Inoxidable A743 con soldadura ER410, la cual da:



**Figura 3.7.** Pendiente de Taylor en el Acero Inoxidable A743 con ER410 durante el fresado.

$$k = \frac{\log(1,9) - \log(5,83)}{\log(400) - \log(120)} = -0,931$$

$$n = -\frac{1}{k} = +\frac{1}{0,931} = 1,07$$

Por lo que las constantes C de Taylor es

Para la herramienta con denominación: FD1.

$$120 * 2,38^{1,07} = 303,47$$

Para la herramienta con denominación: FD2.

$$120 * 5,83^{1,07} = 791,5$$

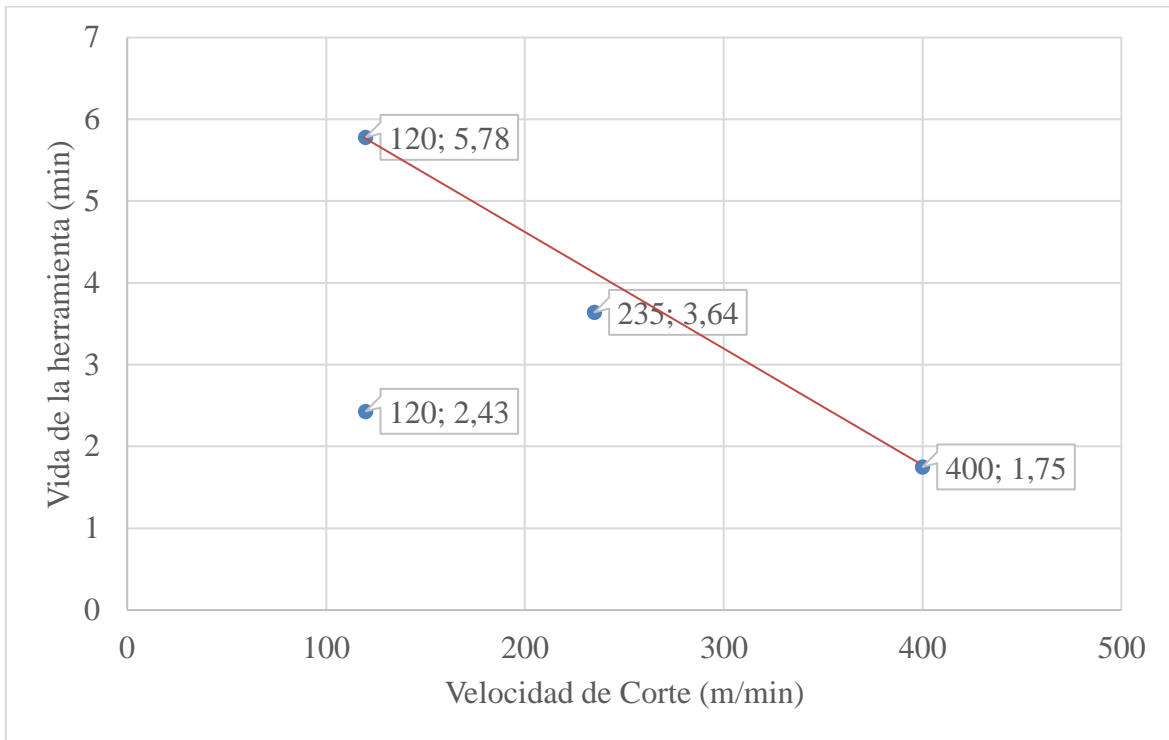
Para la herramienta con denominación: FD3.

$$235 * 3,53^{1,07} = 906,12$$

Para la herramienta con denominación: FD4.

$$400 * 1,90^{1,07} = 794,93$$

Finalmente, el último paso es obtener las curvas de Taylor del Acero Inoxidable A743 con soldadura ER312, la cual da:



**Figura 3.8.** Pendiente de Taylor en el Acero Inoxidable A743 con ER312 durante el fresado.

$$k = \frac{\log(1,75) - \log(5,78)}{\log(400) - \log(120)} = -0,992$$

$$n = -\frac{1}{k} = +\frac{1}{0,992} = 1,01$$

Por lo que las constantes C de Taylor es

Para la herramienta con denominación: FD1.

$$120 * 2,43^{1,01} = 294,20$$

Para la herramienta con denominación: FD2.

$$120 * 5,78^{1,01} = 705,88$$

Para la herramienta con denominación: FD3.

$$235 * 3,64^{1,01} = 866,52$$

Para la herramienta con denominación: FD4.

$$400 * 1,75^{1,01} = 703,93$$

Por lo que resumido da:

**Tabla 3.28.** Resumen de datos de plaquitas usadas para torneear

<b>Detalle</b>	<b>Velocidad de corte (m/min)</b>	<b>Tiempo de mecanizado (min)</b>	<b>Pendiente de Taylor</b>	<b>Constante C</b>
<b>Acero Inoxidable A743</b>				
TD1	225	1,00	0,79	225,00
TD2	270	0,82		230,82
TD3	100	2,90		231,90
TD4	250	1,88		411,65
<b>Acero Inoxidable A743 con soldadura ER 410</b>				
TD1	225	0,99	0,8	223,20
TD2	270	0,80		225,86
TD3	100	2,77		225,94
TD4	250	1,80		400,09
<b>Acero Inoxidable A743 con soldadura ER 312</b>				
TD1	225	0,98	0,87	221,08
TD2	270	0,89		243,97
TD3	100	2,80		244,92
TD4	250	1,85		426,95

**Tabla 3.29.** Resumen de datos de plaquitas usadas para fresar

<b>Detalle</b>	<b>Velocidad de corte (m/min)</b>	<b>Tiempo de mecanizado (min)</b>	<b>Pendiente de Taylor</b>	<b>Constante C</b>
<b>Acero Inoxidable A743</b>				
FD1	120	2,50	1,09	325,79
FD2	120	6,03		850,60
FD3	235	2,75		992,57
FD4	400	2,00		851,50
<b>Acero Inoxidable A743 con soldadura ER 410</b>				
FD1	120	2,38	1,07	303,47
FD2	120	5,83		791,50
FD3	235	3,53		906,12
FD4	400	1,90		794,93
<b>Acero Inoxidable A743 con soldadura ER 312</b>				
FD1	120	2,43	1,01	294,20
FD2	120	5,78		705,88
FD3	235	3,64		866,52
FD4	400	1,75		703,93

### 3.8.3.4 Tiempo Vs desgaste de la herramienta

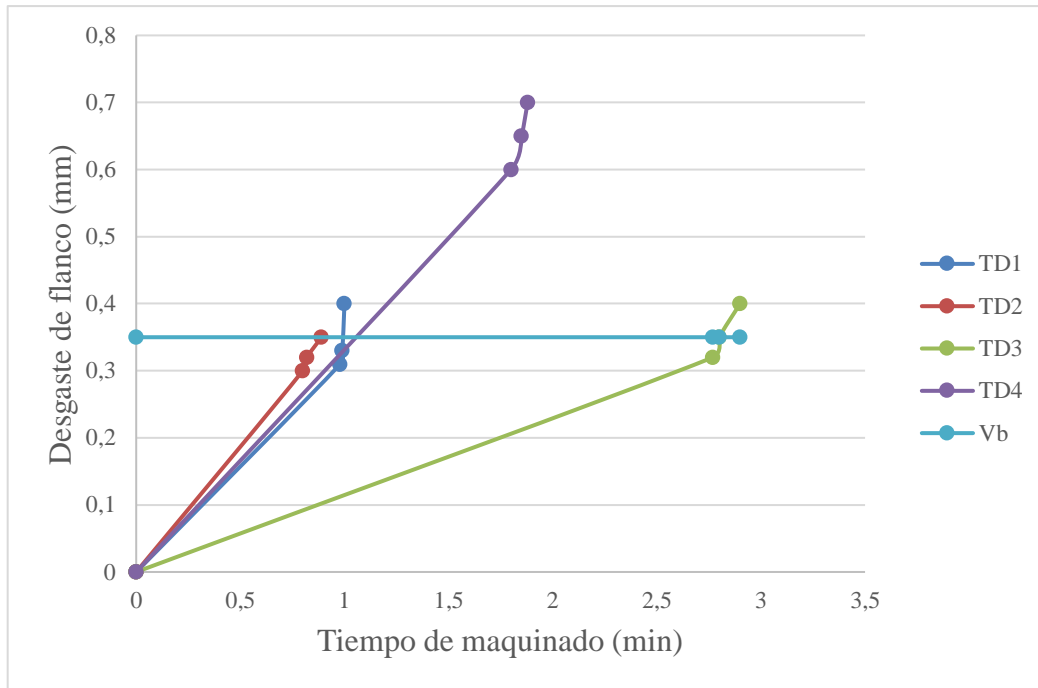
**Tabla 3.30.** Tiempos vs desgaste del flanco de placas para torneado

Ensayo	Detalle	Tiempo de maquinado (min)	Desgaste del flanco (mm)
# 1	TD1	1	0,4
# 2	TD1	0,99	0,33
# 3	TD1	0,98	0,31
# 1	TD2	0,89	0,35
# 2	TD2	0,82	0,32
# 3	TD2	0,8	0,3
# 1	TD3	2,9	0,4
# 2	TD3	2,8	0,35
# 3	TD3	2,77	0,32
# 1	TD4	1,88	0,7
# 2	TD4	1,85	0,65
# 3	TD4	1,8	0,6

Análisis. Los menores tiempos se encuentran en el rango de 0.8-0.89 min, y los máximos están en el intervalo de 2.7-2.9 min; mientras que el menor desgaste esta entre 0.3-0.5 mm y los mayores 0.6-0.7 mm.

Tipos de ensayos:

- Ensayo #1 = Acero A743
- Ensayo #2 = Acero A743 con Electrodo ER410
- Ensayo #3 = Acero A743 con Electrodo ER312



**Figura 3.9.** Diagrama de tiempo vs desgaste de la herramienta durante el torneado.

Análisis. Al utilizar la herramienta TD2 en el mecanizado por torneado, se obtiene el menor desgaste de flanco.

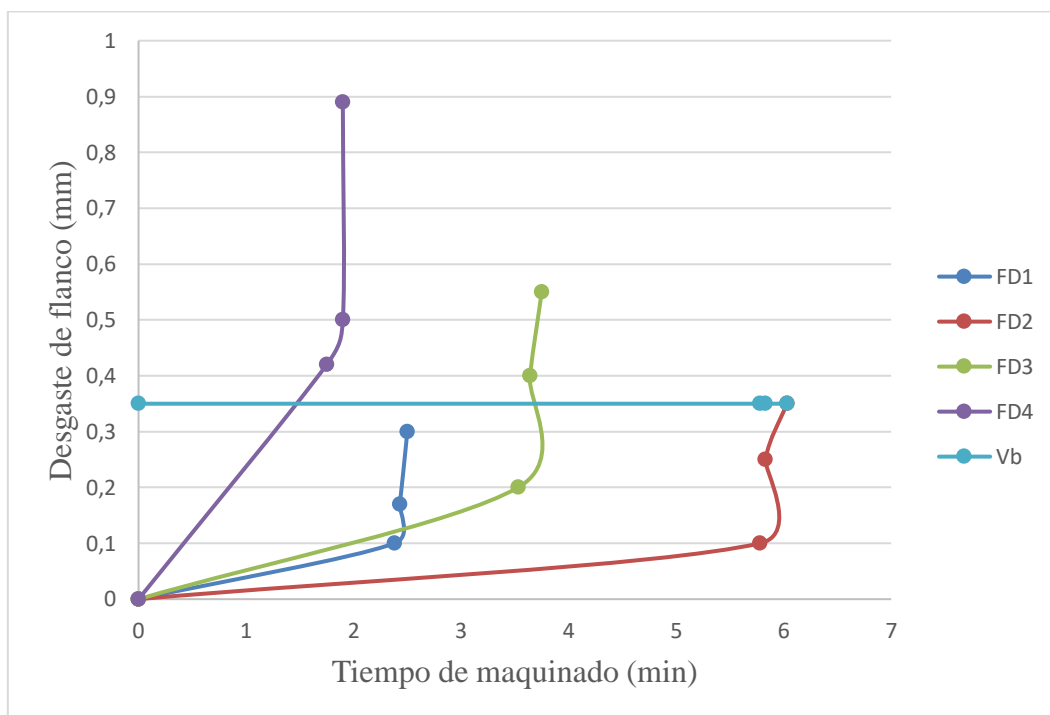
**Tabla 3.31.** Tiempos vs desgaste del flanco de placas para fresar

Ensayo	Detalle	Tiempo de maquinado (min)	Desgaste del flanco (mm)
# 1	FD1	2,5	0,3
# 2	FD1	2,43	0,17
# 3	FD1	2,38	0,1
# 1	FD2	6,03	0,35
# 2	FD2	5,83	0,25
# 3	FD2	5,78	0,1
# 1	FD3	3,75	0,55
# 2	FD3	3,64	0,4
# 3	FD3	3,53	0,2
# 1	FD4	1,9	0,89
# 2	FD4	1,9	0,5
# 3	FD4	1,75	0,42

Análisis. Los menores tiempos se encuentran en el rango de 1.75-1.9 min, y los máximos están en el intervalo de 5.78-3.06 min; mientras que el menor desgaste esta entre 0.1-0.3 mm y los mayores 0.42-0.89 mm.

Tipos de ensayos:

- Ensayo #1 = Acero A743
- Ensayo #2 = Acero A743 con Electrodo ER410
- Ensayo #3 = Acero A743 con Electrodo ER312



**Figura 3.10.** Diagrama de tiempo vs desgaste de la herramienta durante el fresado.

Análisis. Al utilizar la herramienta FD1 en el mecanizado por fresado, se obtiene el menor desgaste de flanco.

### 3.8.4 Cálculo de costos

Los cálculos de costos según el número, el tipo y el código de insertos.

Los insertos para torneado son:



**Tabla 3.32.** Información económica placa TD1

Costo de herramienta:	16,00
Coste hta./producción:	16,00
Coste máquina/producción:	0,67
<b>Coste total:</b>	<b>16,67</b>

**Tabla 3.33.** Información económica placa TD2

Costo de herramienta:	18,80
Coste hta./producción:	18,80
Coste máquina/producción:	0,58
<b>Coste total:</b>	<b>19,38</b>

**Tabla 3.34.** Información económica placa TD3

Costo de herramienta:	14,50
Coste hta./producción:	14,50
Coste máquina/producción:	1,62
<b>Coste total:</b>	<b>16,12</b>

**Tabla 3.35.** Información económica placa TD4

Costo de herramienta:	9,00
Coste hta./producción:	9,00
Coste máquina/producción:	1,11
<b>Coste total:</b>	<b>10,11</b>

Mientras que los insertos para fresar son:

**Tabla 3.36.** Información económica placa FD1

Costo de herramienta:	25,00
Coste hta./producción:	25,00
Coste máquina/producción:	2,13
<b>Coste total:</b>	<b>27,13</b>

**Tabla 3.37.** Información económica placa FD2

Costo de herramienta:	25,50
Coste hta./producción:	25,50
Coste máquina/producción:	4,77
<b>Coste total:</b>	<b>30,27</b>

**Tabla 3.38.** Información económica placa FD3

Costo de herramienta:	27,20
Coste hta./producción:	27,20
Coste máquina/producción:	3,06
<b>Coste total:</b>	<b>30,26</b>

**Tabla 3.39.** Información económica placa FD4

Costo de herramienta:	28,60
Coste hta./producción:	28,60
Coste máquina/producción:	1,68
<b>Coste total:</b>	<b>30,28</b>

- Coste hta./producción = Costo de la herramienta empleada
- Coste máquina/producción = Costo del empleo de las máquinas =  $C_m$

Por lo que:

$$T_t = \frac{T_d * P}{60}$$

- $T_t$  = Tiempo de trabajo por piezas (*minuto*)
- $P$  = Número de elementos maquinados

$$C_m = T_t * C_t$$

- $T_t$  = Tiempo de trabajo en la máquina (*h*)
- $C_t$  = Costo de la hora máquina de trabajo ( $\$/h$ )
- $C_m$  = Costo de la máquina durante la producción ( $\$$ )

Los porcentajes por cada operación de mecanizado es:

**Tabla 3.40.** Porcentaje de operación efectuada en el torno

Costo de la herramienta de corte	Código del material	Desgaste producido en (mm)	Numero de pasadas máximas a emplear	Costo (\$) operación de mecanizado	Porcentaje de operación de mecanizado (%)
16,00	TD1	0,40	3,00	5,33	74,48
18,80	TD2	0,35	3,43	5,48	73,76
14,50	TD3	0,40	3,00	4,83	76,87
9,00	TD4	0,70	1,71	5,25	74,88

**Tabla 3.41.** Porcentaje de operación efectuada en la fresadora

Costo de la herramienta de corte	Código del material	Desgaste producido en (mm)	Numero de pasadas máximas a emplear	Costo (\$) operación de mecanizado	Porcentaje de operación de mecanizado (%)
25,00	FD1	0,30	4,00	6,25	86,80
25,50	FD2	0,35	3,43	7,44	84,30
27,20	FD3	0,55	2,18	12,47	73,68
28,60	FD4	0,89	1,35	21,21	55,22

Los parámetros de proceso recomendados y ensayados son:

**Tabla 3.42.** Parámetros a mecanizar durante el torneado

Placa	Estado	Profundidad (mm)	Avances $F_n$ (mm/rev)	Velocidad de Corte $V_c$ (m/min)	Resultado de Ensayos		
					ASTM A 743	ASTM A 743 con ER410	ASTM A 743 con ER312
TD1	Fabricante	1– 5	0,15 – 0,60	250 - 120	Desgaste mínimo	Desgaste medio	Desgaste medio
	Ensayos	4	0,25	225			
TD2	Fabricante	1 - 5	0,10 – 0,50	200 – 300	Desgaste casi mínimo	Desgaste mínimo	Desgaste mínimo
	Ensayos	4	0,25	270			
TD3	Fabricante	0,8 - 4	0,20 – 0,40	150 - 50	Desgaste mínimo	Desgaste mayor	Desgaste medio
	Ensayos	4	0,20	100			
TD4	Fabricante	1 - 4	0,10 – 0,30	250 - 200	Desgaste mayor	Desgaste mayor	Desgaste mayor
	Ensayos	4	0,12	250			

Análisis. Al mecanizar el Acero ASTM A743 en el 75% se obtiene un desgaste mínimo, en el acero ASTM A734 con ER 410 en el 25 % se obtiene un desgaste mínimo, al igual que con el acero ASTM A734 con ER

**Tabla 3.43.** Parámetros a mecanizar durante el fresado

Placa	Estado	Profundidad (mm)	Avances $F_n$ (mm/rev)	Velocidad de Corte $V_c$ (m/min)	Resultado de Ensayos		
					ASTM A 743	ASTM A 743 con ER410	ASTM A 743 con ER312
FD1	Fabricante	0,8 - 8	0,05 – 0,30	100 - 120	Desgaste mínimo	Desgaste mínimo	Desgaste mínimo
	Ensayos	1	0,12	120			
FD2	Fabricante	0,8 - 8	0,05 – 0,30	100 - 120	Desgaste mínimo	Desgaste mínimo	Desgaste mínimo
	Ensayos	1	0,10	120			
FD3	Fabricante	1 - 10	0,10 – 0,20	230 - 255	Desgaste bajo	Desgaste medio	Demasiado máximo
	Ensayos	11	0,13	235			
FD4	Fabricante	1 - 10	0,10 – 0,20	200 - 500	Desgaste bajo	Desgaste máximo	Demasiado máximo
	Ensayos	1	0,12	400			

Análisis. Al mecanizar el Acero ASTM A743 en el 50% se obtiene un desgaste mínimo, en el acero ASTM A734 con ER 410 en el 25 % se obtiene un desgaste máximo y en el acero ASTM A734 con ER 312 se obtiene un 50% de desgaste mínimo.

### 3.9 Verificación de Hipótesis

La verificación de la hipótesis, ha sido definida por el método T-Student, la cual es una prueba estadística que emplea una distribución entre dos medias, permitiendo demostrar si la hipótesis propuesta es válida o no para el estudio en cuestión.

Para torneado se compararon los costos de uso de la herramienta consumible para mecanizado de alternativas existentes en el mercado nacional respecto de aquella de uso normal en la empresa.

Para fresado se compararon los costos de uso de la herramienta consumible para mecanizado de alternativas existentes en el mercado nacional respecto de aquella de uso normal en la empresa.

La comprobación de la hipótesis será efectuada mediante un estudio bilateral, la cual es considerada de hasta 2 colas, con un nivel de significación del 5%.

$$P = \frac{\alpha}{n}$$

- P = Probabilidad
- n = Numero de colas = 2
- $\alpha$  = Significación = 5%.

$$P = \frac{0,05}{2} = 0,025$$

Grados de libertad

$$gl = (N_A - 1) + (N_B - 1)$$

- gl = Grados de libertad
- $N_A$  = Tiempo de mecanizado experimental = 8
- $N_B$  = Tiempo de mecanizado teórico = 8

$$gl = (8 - 1) + (8 - 1) = 14$$

Por lo que la tabla de t-student se obtiene:

$$"t"_{tabla_{14, gl:0,25}} = 2,145$$

Como se analiza para 2 colas se tiene que:

$$"t"_{\text{tabla}} = \pm 2,145$$

### 3.9.1 Planteamiento de la hipótesis

Ha: La determinación de variables en herramientas desde el punto de vista técnico y de calidad a partir de un análisis teórico y experimental de la durabilidad de los insertos permitirá disminuir los costos de mecanizado.

Ho: La determinación de variables en herramientas desde el punto de vista técnico y de calidad a partir de un análisis teórico y experimental de la durabilidad de los insertos no permitirá disminuir los costos de mecanizado.

### 3.9.2 Regla de decisión

Se acepta la hipótesis nula si  $H_0$  se encuentra dentro del intervalo de  $-2,145$  a  $+ 2,145$  caso contrario se acepta  $H_a$  que es la hipótesis alterna.

### 3.9.3 Verificación de la hipótesis con respecto a los tiempos definidos

**Tabla 3.44.** Verificación de los tiempos de operaciones

Tiempos del Acero A743 (min)			Tiempos del Acero A743 con soldadura combinada (min)		
Ensayos	Ta (min)	Ta <sup>2</sup>	Definidos	Tb (min)	Tb <sup>2</sup>
1	1	1	1	0,6	0,36
2	0,82	0,67	2	0,85	0,72
3	2,8	7,84	3	0,98	0,96
4	1,88	3,53	4	0,89	0,79
5	2,5	6,25	5	1,75	3,06
6	6,03	36,36	6	0,6	0,36
7	3,75	14,06	7	1,02	1,04
8	2,5	6,25	8	1,91	3,65
<b>Total</b>	21,28	75,97	<b>Total</b>	8,6	10,94
<b>Promedio</b>	2,66		<b>Promedio</b>	1,075	

Cálculo de varianza individual

$$S_{cxa} = \sum Ta^2 - \frac{\sum(Ta)^2}{n}$$

$$S_{cxa} = 75,97 - \frac{21,28^2}{8}$$

$$S_{cxa} = 19,37$$

$$S_{cxb} = \sum Tb^2 - \frac{\sum(Tb)^2}{n}$$

$$S_{cxb} = 10,94 - \frac{8,6^2}{8}$$

$$S_{cxb} = 1,70$$

Varianza combinada

$$S_c^2 = \frac{S_{cxa} + S_{cxb}}{(na - 1) + (nb - 1)}$$

$$S_c^2 = \frac{19,37 + 1,70}{(8 - 1) + (8 - 1)}$$

$$S_c^2 = 1,51$$

Desviación estándar de las diferencias

$$\overline{Sd} = \sqrt{S_c^2 * \left(\frac{na + nb}{na * nb}\right)}$$

$$\overline{Sd} = \sqrt{1,51 * \left(\frac{8 + 8}{8 * 8}\right)}$$

$$\overline{Sd} = 0,38$$

Valor de t

$$t = \frac{\overline{Ta} - \overline{Tb}}{\overline{Sd}}$$

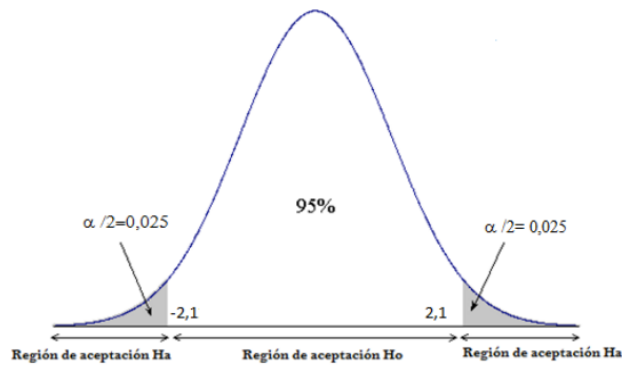
$$t = \frac{2,66 - 1,075}{0,61}$$

$$t = 2,60$$

Entonces da

$$"t"_{cal} = 2,60 > "t"_{tabla} 2,145$$





**Figura 3.11.** Diagrama de definición del t-student.

Como el valor calculado está por encima de 2,145 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna, por lo que sería:

Ha: La determinación de variables en herramientas desde el punto de vista técnico y de calidad a partir de un análisis teórico y experimental de la durabilidad de los insertos permitirá disminuir los costos de mecanizado.

Al variar los materiales de las herramientas se obtuvo variaciones significativas en los tiempos de mecanizado, lo que influye en el desgaste de filo y estas sobre la deducción de costos del proceso.

### 3.9.4 Verificación de la hipótesis con respecto a los desgastes de los flancos

**Tabla 3.45.** Verificación de los desgastes del flanco

Desgastes del Acero A743 (mm)			Desgastes de A743 con soldadura combinada (mm)		
Ensayos	Da (mm)	Da <sup>2</sup>	Definidos	Db (mm)	Db <sup>2</sup>
1	0,4	0,16	1	0,31	0,10
2	0,35	0,12	2	0,3	0,09
3	0,4	0,16	3	0,32	0,10
4	0,7	0,49	4	0,4	0,16
5	0,3	0,09	5	0,1	0,01
6	0,35	0,12	6	0,1	0,01
7	0,55	0,30	7	0,2	0,04
8	0,89	0,79	8	0,4	0,16
<b>Total</b>	3,94	2,24	<b>Total</b>	2,13	0,67
<b>Promedio</b>	0,49		<b>Promedio</b>	0,27	

Cálculo de varianza individual

$$S_{cxa} = \sum Da^2 - \frac{\sum(Da)^2}{n}$$

$$S_{cxa} = 2,24 - \frac{3,94^2}{8}$$

$$S_{cxa} = 0,30$$

$$S_{cxb} = \sum Db^2 - \frac{\sum(Db)^2}{n}$$

$$S_{cxb} = 0,67 - \frac{2,13^2}{8}$$

$$S_{cxb} = 0,10$$

Varianza combinada

$$S_c^2 = \frac{S_{cxa} + S_{cxb}}{(na - 1) + (nb - 1)}$$

$$S_c^2 = \frac{0,30 + 0,10}{(8 - 1) + (8 - 1)}$$

$$S_c^2 = 0,03$$

Desviación estándar de las diferencias

$$\overline{Sd} = \sqrt{S_c^2 * \left(\frac{na + nb}{na * nb}\right)}$$

$$\overline{Sd} = \sqrt{0,03 * \left(\frac{8 + 8}{8 * 8}\right)}$$

$$\overline{Sd} = 0,09$$

Valor de t

$$t = \frac{\overline{Da} - \overline{Db}}{\overline{Sd}}$$

$$t = \frac{0,49 - 0,27}{0,09}$$

$$t = 2,44$$

Entonces da

$$t_{cal} = 2.44 > t_{tabla, 2,145}$$

Como el valor calculado está por encima de 2,145 se elimina la hipótesis nula y se acepta la alterna, por lo que sería:

Ha: La determinación de variables en herramientas desde el punto de vista técnico y de calidad a partir de un análisis teórico y experimental de la durabilidad de los insertos permitirá disminuir los costos de mecanizado.

Al variar los materiales de las herramientas de igual manera, se obtuvo variaciones significativas en desgastes de los flancos de mecanizado, los cuales influyen sobre la deducción de costos del proceso y el tiempo de mecanizado.

### 3.9.5 Verificación de la hipótesis con respecto a los costos de producción

**Tabla 3.46.** Verificación de los costos de producción

Ensayos del Acero A743			Ensayos de A743 con soldadura combinada		
Ensayos	Ca (\$)	Ca <sup>2</sup>	Definidos	Cb (\$)	Cb <sup>2</sup>
1	5,33	28,44	1	6,25	39,06
2	10,18	103,70	2	7,44	55,32
3	7,25	52,56	3	12,47	155,42
4	5,25	27,56	4	21,21	449,93
5	4,00	16,00	5	12,50	156,25
6	4,86	23,59	6	8,50	72,25
7	3,75	14,03	7	15,87	251,75
8	3,00	9,00	8	7,15	51,12
<b>Total</b>	43,62	274,89	<b>Total</b>	91,3825	1231,1051
<b>Promedio</b>	5,45		<b>Promedio</b>	11,42	

Cálculo de varianza individual

$$S_{cxa} = \sum Ca^2 - \frac{\sum(Ca)^2}{n}$$

$$S_{cxa} = 274,89 - \frac{43,62^2}{8}$$

$$S_{cxa} = 37,05$$

$$S_{cxb} = \sum Cb^2 - \frac{\Sigma(Cb)^2}{n}$$

$$S_{cxb} = 1231,11 - \frac{91,38^2}{8}$$

$$S_{cxb} = 187,32$$

Varianza combinada

$$S_c^2 = \frac{S_{cxa} + S_{cxb}}{(na - 1) + (nb - 1)}$$

$$S_c^2 = \frac{|37,05 + 187,32|}{(8 - 1) + (8 - 1)}$$

$$S_c^2 = 16,03$$

Desviación estándar de las diferencias

$$\overline{Sd} = \sqrt{S_c^2 * \left(\frac{na + nb}{na * nb}\right)}$$

$$\overline{Sd} = \sqrt{16,03 * \left(\frac{8 + 8}{8 * 8}\right)}$$

$$\overline{Sd} = 2,00$$

Valor de t

$$t = \frac{\overline{Ca} - \overline{Cb}}{\overline{Sd}}$$

$$t = \frac{5,45 - 11,42}{2}$$

$$t = |-2,985|$$

$$t = 2,985$$

Entonces da

$$"t"_{cal} = 2,985 > "t"_{tabla} 2,145$$

Como el valor calculado está por encima de 2,145 se elimina la hipótesis nula y se acepta la alterna, por lo que sería:

Ha: La determinación de variables en herramientas desde el punto de vista técnico y de calidad a partir de un análisis teórico y experimental de la durabilidad de los insertos permitirá disminuir los costos de mecanizado.

Al variar los materiales de las herramientas y los insumos que intervienen en el proceso, se obtuvo variaciones significativas en el costo final demostrando, así como influye en los tiempos del proceso mencionado.

De las tres verificaciones anteriores es decir del tiempo, el desgaste del flanco y el costo, demuestra que la durabilidad de los costos de mecanizado es distinta por lo tanto se deben escoger las mejores condiciones de mecanización, considerando los costos menores, en función de los materiales seleccionados, demostrando así que si se pudo disminuir los costos de mecanizado.

## **CAPÍTULO IV.- DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

### **“PROCEDIMIENTO TÉCNICO Y DE SEGURIDAD PARA MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA EN LA REPARACION DE PARTES DE TURBINAS HIDRAÚLICAS”**

#### **4.1 Descripción**

##### **4.1.1 Datos informativos**

En el proceso de torneado en el cual se generan formas cilíndricas con una herramienta de corte, que, en la mayoría de los casos, es estacionaria, mientras que la pieza de trabajo es giratoria, se utiliza dicha herramienta de corte la cual debe presentar algunas características fundamentales como: alta dureza, alta resistencia al desgaste y gran ductilidad.

El fresado es un proceso mediante el cual se corta un material mediante una herramienta rotativa que consta de varios filos, llamados dientes, plaquitas o labios. Esta herramienta puede moverse en casi todas las direcciones, dentro de los tres ejes en los que la mesa puede desplazarse. Para realizar los cortes se utilizan las fresas, que van fijadas en la máquina. Dadas las diferentes necesidades que hay en los distintos tipos de producción, hay una gran variedad de fresas, cada una de las cuales tiene sus propias especificidades.

##### **4.1.2 Justificación**

Durante la operación de una turbina hidráulica, las partes que están en contacto con el agua, están sometidas a diferentes mecanismos de falla como cavitación, erosión y fatiga que producen desgaste y agrietamiento, siendo necesario el reemplazo de los componentes deteriorados, con la finalidad de devolver a la máquina a sus condiciones normales de operación.

El reemplazo por un rodete nuevo constituye un costo de mantenimiento muy elevado debido al tamaño, el tipo de material y gastos de importación desde un fabricante en el extranjero. Hasta hace poco se ha incurrido en elevados gastos sin considerar que estas piezas pueden ser reconstruidas y por no disponer localmente de tecnología con capacidad para ejecutar los

procesos necesarios. Sin embargo, se ha determinado que los rodets de las turbinas que ya han sido reemplazados y se encuentran fuera de servicio, en función de su estado, pueden volver a ser reutilizados bajo un proceso de recuperación.

Dentro del proceso de recuperación se encuentra el sub proceso que es el mecanizado en el cual se busca determinar los parámetros adecuados, así como la mejor herramienta de corte que ayude aún más a optimizar los costos del proceso sin alterar la calidad de mecanizado.

Esto permite extender la vida de servicio por otro periodo de tiempo similar al que duraría uno nuevo, cuyos resultados se traducen en mayor producción y ahorro económico.

## **4.2 Objetivos**

### **4.2.1 Objetivo General**

- Establecer un procedimiento técnico y de seguridad para mecanizado por arranque de viruta en la reparación de partes de turbinas hidráulicas

### **4.2.2 Objetivo Específicos**

- Analizar los criterios técnicos a definir en un procedimiento para el mecanizado de reparación.
- Examinar los tiempos adecuados para un proceso de mecanizado en la reparación de partes de turbinas hidráulicas.
- Estudiar los costos equivalentes para reparar al mecanizar las partes de las turbinas hidráulicas.
- Establecer los criterios de seguridad que se debe tener al operar una maquinaria por arranque de viruta.

## **4.3 Desarrollo**

### **Criterios técnicos**

### **4.3.1 Procedimiento de empleo de las herramientas de corte.**

El procedimiento de empleo es:

#### **4.3.1.1 En el torno**

Para comprender los ensayos, se indica a continuación el diseño con el que se van a llevar a cabo el proceso experimental, tomando en cuenta que la herramienta debe concluir el mecanizado sin tener que hacer el cambio de herramienta.

#### **Ejecución del ensayo**

El desarrollo de los ensayos se los realizaría en los talleres de la empresa CIRT-CELEC EP, en un Torno Romi de modelo C420.

A continuación, se detalla paso a paso el proceso de mecanizado para el desarrollo experimental.

#### **Operaciones iniciales**

Como paso inicial es:

- 1) Sujeción de la pieza en el mandril del torno.
- 2) Limpieza preliminar de la pieza en caso de presentar oxido

#### **Desbaste de los extremos de la pieza**



**Ilustración 4.1.** Desbaste de los extremos de la pieza



El desbaste de los extremos del eje se da de la siguiente manera:

- 1) Refrentado del eje con pasada máxima de 0.5 mm
- 2) A continuación, se debe girar la torreta a aproximadamente hasta  $15^\circ$ , quedando la herramienta enfrente de la cara que va a mecanizar.
- 3) Utilice la velocidad del husillo según placas recomendadas.
- 4) Otro paso muy importante es verificar el sentido de avance del automático, con la herramienta de corte hacia afuera.
- 5) A continuación, se debe aproximar la herramienta a la pieza, hasta que toque su cara extrema para poder establecer la referencia en el eje  $Z=0$  con el volante graduado del carro transversal
- 6) Con el volante del carro longitudinal se debe mover la herramienta de hasta 0.5 mm hacia la pieza.
- 7) Accionar el automático donde la herramienta mecanice la pieza hasta su centro.
- 8) Una vez llegado al centro desactivar el automático
- 9) Finalmente se debe extraer la pieza, aflojando las distintas mordazas
- 10) Comprobación de las medidas extremas

### **Punteado de la pieza**



**Ilustración 4.2.** Punteado de la pieza

El punteado del eje se da de la siguiente manera:

- 1) Como paso inicial se debe colocar la pieza en el mandril
- 2) A continuación, se debe cambiar el contrapunto por una porta brocas
- 3) A continuación, se debe ubicar una broca para centrar mediante el punteado.
- 4) Otro paso es establecer una velocidad definida en la tabla de velocidades del husillo del torno
- 5) Finalmente se debe avanzar hasta un punto máximo de 1.3 mm de profundidad

### **Cilindrado de la pieza**

Dentro del cilindrado de la pieza se dan dos pasos que son de desbaste y acabado, para la práctica se analizará solo el primer caso.

El desbaste se da de la siguiente manera:

- Compaso inicial se procede al colocado y nivelado del eje
- A continuación, se procede al encerado del carro longitudinal en el eje X y el transversal en el eje Z, acercándose a los extremos de la pieza y ubicando los visores de los carros en cero.
- Una vez que la herramienta este encerada, se procede a ubicar la herramienta fuera de la pieza estableciéndose un corte máximo automático de hasta 0.5 mm por pasada hasta el diámetro deseado.
- Se debe tener en cuenta que el desbaste debe ser máximo hasta 0.5 mm antes de lo requerido para proceder a dar el acabado final.

#### **4.3.1.2 En la fresadora**

Para comprender los ensayos, se indica a continuación el diseño con el que se van a llevar a cabo el proceso experimental, tomando en cuenta que la herramienta debe concluir el mecanizado sin tener que hacer el cambio de herramienta.

## Ejecución del ensayo

El desarrollo de los ensayos se los realiza en los talleres de la empresa CIRT-CELEC EP, en una fresadora modelo Hass VF-9/50



**Ilustración 4.3.** Ejecución del ensayo



**Ilustración 4.4.** Desbastado en la fresadora

A continuación, se detalla paso a paso el proceso de mecanizado para el desarrollo experimental.

### **Operaciones iniciales**

Como paso inicial es:

- 1) Limpieza preliminar de la pieza en caso de presentar óxido

### **Operaciones en la fresadora**

El proceso de fresado se divide en tres operaciones que son:

- Desbaste
- Semiacabado
- Acabado

Las operaciones que se debe realizar para el desbaste en una fresadora son:

- 1) Seleccionar la fresa
- 2) Tener en cuenta la profundidad a mecanizar
- 3) A continuación, se procede a elegir el tipo de fresado si es en concordancia o en oposición
- 4) Otro paso que se debe dar es la sujeción de la pieza a la bancada de la fresadora
- 5) A continuación, se procede a la alineación de la fresa, situándole la fresa en  $y=0$ , para lo cual se deberá acercar la pieza a mecanizar a la fresa en movimiento.
- 6) Otro paso muy importante es alinear de igual manera en el eje  $z=0$ , el cual se procede moviendo la fresa de arriba abajo, lentamente hasta que toca a la herramienta de corte.
- 7) Una vez que la herramienta este encerrada, se procede a mecanizar de 0.5mm por pasada hasta 0.5 mm antes de finalizar.

**Tabla 4.1.** Parámetros delimitados de actividades, tiempos y costos del torneado

<b>Operaciones</b>	<b>Actividades</b>	<b>Tiempos</b>	<b>Costos (\$)</b>
Preparación	Preparación inicial del material	(3 - 10) min	(0,20 - 1,25)
Operaciones iniciales	Sujeción	(0,5 - 1) min	
	Refrentado	(0,5 - 1) min	
	Ubicación de la velocidad del husillo	(0,5 - 1) min	
Revisión	Con la herramienta afuera	(0,5 - 1) min	(0,20 - 1,25)
Automático	Aproximación de la herramienta a la pieza	(0,5 - 1) min	
	Movimiento del carro longitudinal hasta 0,5 mm hacia la pieza	(1 - 1,5) min	
	Accionamiento del automático al centro	(0,25 - 1) min	
Punteado de la pieza	Desactivación al llegar al centro	(1 - 2) min	(0,20 - 1,25)
	Comprobación de las medidas	(1 - 5) min	
	Extracción de piezas	(0,5 - 1) min	
	Cambio del contrapunto por la porta brocas	(0,5 - 1) min	
	Ubicación de la broca para centrar	(1 - 2) min	
Desbaste	Definir velocidades en el husillo	(0,5 - 3) min	(3- 5)
	Encerado del carro longitudinal y transversal	(0,5 - 1) min	
	Encerado de los visores de los carros	(0,5 - 1) min	
	Ubicación del automático hasta 0,5 mm antes del acabado final	(1 - 5) min	
Acabado	Cambio de velocidades	(0,5 - 1) min	(3-5,50)
	Finalizado los últimos 0,5 mm	(1 - 3) min	

**Tabla 4.2.** Parámetros delimitados de actividades, tiempos y costos del fresado

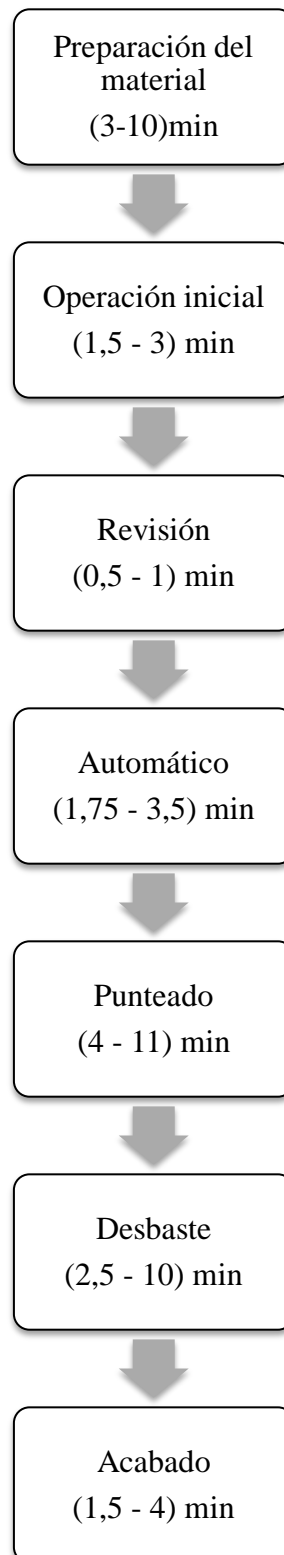
<b>Operaciones</b>	<b>Actividades</b>	<b>Tiempos</b>	<b>Costos</b>
Preparación del material	Preparación inicial del material	(3 - 10) min	(0,50 - 2)
Operaciones iniciales	Sujeción	(0,5 - 1) min	
	Limpieza	(0,5 - 1) min	
	Selección del portafresas	(3- 10) min	
	Ubicación de los insertos	(0,5- 2) min	
	Sujeción de la pieza	(0,5 - 1) min	
	Alineación de la fresa	(0,5 - 1) min	
Desbaste	Cambio de velocidades hasta 0,5 mm por pasada	(1- 5) min	(5-10)
Acabado	Cambio de insertos	(3- 10) min	(1-3)
	Cambio de velocidades	(1- 5) min	
	Operación	(3- 10) min	

#### **4.3.1.3 Criterios de seguridad al operar la maquinaria**

Al operar las maquinarias se debe tener en cuenta equipos de seguridad como son:

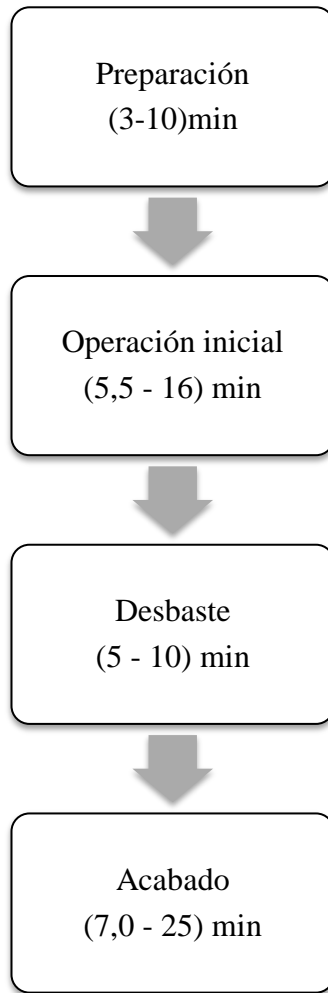
- Empleo de monogafas o gafas de protección
- Uso de calzado de seguridad
- Ropa adecuada, las cuales deben ser bien cerradas hasta el cuello sin bolsillo.
- Se debe prohibir usar anillos, pulseras, cadenas, bufandas
- Se debe tener en cuenta que la pieza a tornearse debe estar firmemente sujeta a la maquinaria.
- Verificar que estén bien ajustados todos los pernos del porta herramientas.
- Asegurarse que este bien anclado el contra punto.
- Verificar que este bien sujeto y anclado la entenalla
- Se debe dar mantenimiento a la maquinaria de manera diaria al finalizar cada jornada de trabajo.
- Verificar que estén bien ubicadas las guardas de seguridad
- Se recomienda al finalizar la hora de trabajo limpiar la máquina, recoger las virutas en un lugar de almacenamiento adecuado
- Antes de poner en marcha la maquinaria se debe verificar que este desactivado todas las salidas en fin de evitar cualquier tragedia

Los tiempos se dan de la siguiente manera:



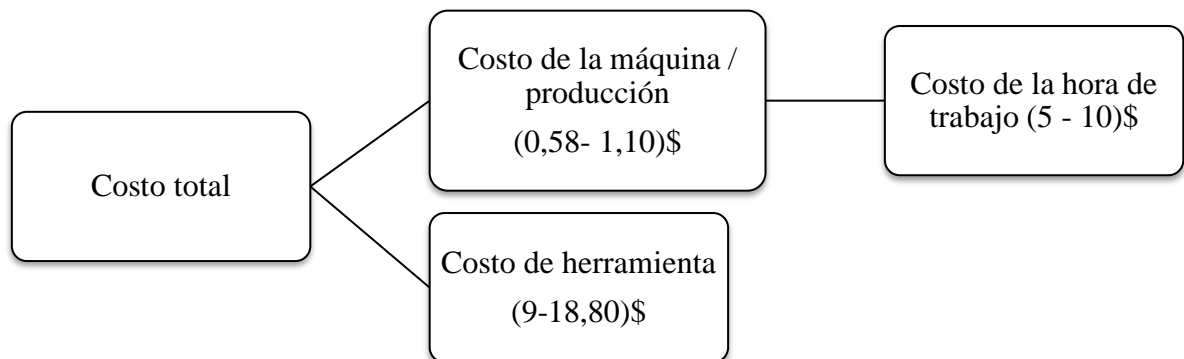
**Figura 4.1.** Diagrama del tiempo de operación en el torno



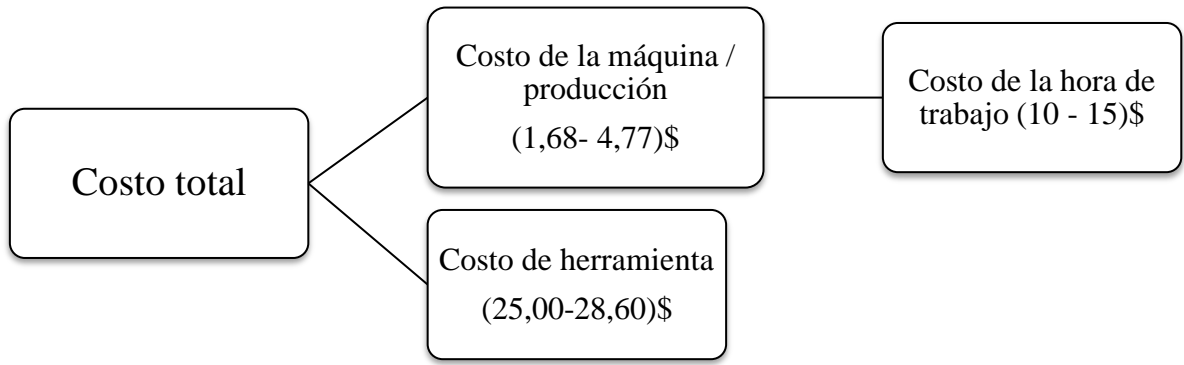


**Figura 4.2.** Diagrama del tiempo de operación en la fresadora

Mientras que los costos de operación según las maquinarias operadas son:



**Figura 4.3.** Diagrama de costos de operación en el torno



**Figura 4.4.** Diagrama de costos de operación en la fresadora

## CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Se investigaron fuentes bibliográficas útiles para el mecanizado de turbinas hidráulicas las cuales en su mayoría son de Acero A743, identificando el material, sus herramientas de corte, el cual tiene el recubrimiento del tipo CVD, su composición y el proceso de mecanizado a seguir, identificando que el inserto más preciso para torneado, tiene una forma rómbica a  $55^\circ$  para torneado y rectangular para fresado con una longitud de filo de 1,2 mm.
- Mediante el análisis experimental se estableció una investigación con un enfoque cualitativo y cuantitativo en la que se manejaron variables, que interviene en el proceso de mecanizado por arranque de viruta del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, así como en soldadura ER312 y ER410 las cuales fueron cuantificadas y analizadas, determinando la relación existente, de cómo afectarían en la vida útil de la herramienta de corte y la influencia en los costos del proceso, delimitando la velocidad de corte para el torneado de 100 a 270 m/min, una vida útil que varía de 0,82 a 2,9 min, identificando la Pendiente de Taylor 0,79, mientras que para el fresado se dieron velocidades que van de 120 a 400 m/min, con una vida útil de 2 a 6,03 min y con una pendiente de Taylor de 1,09.
- Los costos de operación fueron (0,20 – 1,25) \$, mientras que el punteado del elemento fue de (0,20 – 1,25) \$. En el desbaste varía de (3-5)\$ mientras que en el acabado fue de (3-5,50)\$ . Durante el fresado en la preparación del material es de (0,50-2)\$, las operaciones iniciales en desbaste varía de (5-10)\$ y en acabado de (1-3)\$ . Los costos de operación variaron de (4,83 – 21,21)\$, mientras que el costo de la herramienta de corte varió de (9-30) \$.
- Los tiempos de preparación del material fue de (3-10) min, en tanto que las operaciones iniciales de (1,5-3) min. La preparación de la máquina tarda de (0,5 – 1) min, en tanto que poner el automático va de (2,75 – 3) min. El punteado va de (4-11) min, mientras que el desbaste tarda de (2,5 a 10) min y el acabado de (1-3) min.

## 5.2 Recomendaciones

- Realizar un análisis utilizando el microscopio para identificar de mejor manera los desgastes que se producen en cada una de las herramientas de corte después de realizar el mecanizado con la finalidad de visualizar claramente el desgaste de filo.
- Es conveniente además realizar un análisis en cada una de las probetas mecanizadas para poder observar el acabado superficial de las mismas y poder determinar cuál de las cuchillas brinda un mejor acabado.
- Se puede complementar el estudio incrementando otros índices de costos que también pueden estar relacionados con la producción, para obtener resultados más exactos y cercanos a los verdaderos costos de producción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CELEC EP, «CELEC EP,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.celec.gob.ec/rendicion-de-cuentas-2017/ver-2017/78-quienes-somos/395-se-inauguro-centro-de-investigacion-y-recuperacion-de-turbinas-hidraulicas-y-partes-industriales-cirt.html...> [Último acceso: 29 Octubre 2019].
- [2] J. J. Auz], «Repositorio Universidad Técnica de Ambato,» 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25977>. [Último acceso: 01 Noviembre 2019].
- [3] D. Machine-Valle, R. Del Risco y R. Gonzalez, «Calzos pentagonales cementados: influencia de la velocidad de corte en la productividad y los costos,» *SCIELO*, vol. 16, n° 3, 2013.
- [4] L. Sarache, «Cermets' s utilization and his effect in the machine surface multifactorial analyzed,» *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Zulia*, vol. 27, n° 3, 2004.
- [5] D. Martinez, «Procesos por arranque de viruta y no convencionales que aplican en la industria metal mecánica,» *INTI.Mecánica*, 2008.
- [6] Y. Morales, Y. Zamora, P. Zambrano y R. Beltrán, «Análisis del rendimiento del torneado utilizando el coeficiente de vida util en relacion al volumen de material cortado,» *Revista Chilena de Ingeniería*, vol. 25, n° 3, 2017.
- [7] Y. Zamora, Y. Morales, A. Lastre y R. Beltrán, «Influencia de los parametros de corte en el desgaste del flanco de insertos recubiertos durante el torneado del Acero AISI 316L,» *Enfoque UTE*, vol. 6, n° 1, 2015.
- [8] R. Cep, A. Janasek, L. Cepova y J. Valicek, «Testing of greenleaf ceramic tool and interrunted cutting,» *Tehnicki vjesnik-Technical Gazette*, vol. 18, n° 3, pp. 327-332, 2011.

- [9] R. Cep, A. Janasek, A. Sliva, M. Neslusan y M. Bonder, «Experimental tool life test of indexable inserts for steel machining,» *Technical Gazette*, p. 8, 2013.
- [10] R. Ortega de la Rosa, E. Martinez, M. Ramirez y S. Haro, «Eficiencia mecánica y ahorro economico del maunado de acero para maquinaria por medio de herramientas recubiertas con multicapaz aplicando el proceso PDV,» *SCIELO*, vol. 24, nº 4, 2011.
- [11] O. Zurita, V. Di Graci y M. Capace, «Efecto de los parametros de corte en la rugosidad de la superficie de torneado del Acero AISI-1020,» *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 27, nº 47, 2018.
- [12] R. Hecker, G. Flores y D. Vicente, «Sistema para el monitoreo de fuerza y temperatura,» *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, vol. 16, nº 1, p. 10, 2012.
- [13] T. Bounasera, «Modeling the costs and benefits of mannnufacturing expedient milling tools,» *ELSERVIER*, vol. 57, p. 10, 2015.
- [14] J. Coronado, «Economia en el maquinado para la industria metalmecánica,» *SCIELO*, vol. 21, nº 94, 2015.
- [15] C. Nath, Z. Brooks y T. Kurfess, «Machinability study and process optimization in face milling of some super alloys with indexable copy face mill inserts,» *ELSERVIER*, p. 10, 2015.
- [16] M. Toapanta, «Plan de control y aseguramiento de la calidad para la recuperacion de un rodete de turbina Francis de una central hidroeléctrica,» *Revista Técnica Energía*, nº 15, pp. 57-65, 2019.
- [17] W. Callister, *Introduccion a la ciencia e ingeniería de materiales*, Mexico: REVERTÉ SA.
- [18] W. Smith y J. Hashemi, *Fundamentos de la ciencia e ingeiería de materiales*, Cuarta edición ed., Mc Graw Hill, 2004.
- [19] I. Calliari, M. ZanESCO, M. Dabalá, K. Brunelli y E. Ramous, «Investigation of microestructure and properties of a Ni-Mo martensitic stainless steel.,» *Materials and Design*, vol. 29, pp. 246-250, 2008.
- [20] J. Crawford, «CA-6NM An Update,» *29th Annual Steel Founders´ Society of America Technical an Operating Conferende and Printed in Steel Foundry Facts*, 1974.

- [21] D. Peckner y I. Bernstein, Handbook of Stainless Steel, New York: Mc Graw Hill, 1977.
- [22] ASTM A 743/A 743M: Standard Specification for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-nickel, Corrosion Resistant, for General Application. pg. 3-5.
- [23] C. Lincon. [En línea]. Available: [https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable\\_StainlessNickelHighAlloy-Lincoln-LincolnER410/Lincoln-ER410\\_es-mx.pdf](https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable_StainlessNickelHighAlloy-Lincoln-LincolnER410/Lincoln-ER410_es-mx.pdf). [Último acceso: 2 Abril 2020].
- [24] «Catalogo Lincon,» [En línea]. Available: [https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable\\_StainlessNickelHighAlloy-Lincoln-LincolnER410/Lincoln-ER410\\_es-mx.pdf](https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable_StainlessNickelHighAlloy-Lincoln-LincolnER410/Lincoln-ER410_es-mx.pdf). [Último acceso: 2 Abril 2020].
- [25] A. Espinoza, J. Blanco, J. Sierra, J. Azofra y F. Martinez de Pison Ascacibar, Prácticas de mecanizado en torno y Fresadora, Iberus, 2018.
- [26] M. Estrems, «Universidad Politécnica de Cartagena,» 2007. [En línea]. Available: [http://www.dimf.upct.es/personal/EA\\_M/Principios%20de%20mecanizado.pdf](http://www.dimf.upct.es/personal/EA_M/Principios%20de%20mecanizado.pdf). [Último acceso: 3 Abril 2020].
- [27] Boothroyd y Knight, Fundamentals of machining and machine tools, New York: Marcel Dekker, inc.
- [28] S. Kalpakjian y S. Schmid, Manufactura, ingeniería y tecnología, Mexico: Pearson Educación, 2002.
- [29] SANDVIK, «Materiales de las herramientas de corte,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/materials/pages/cutting-tool-materials.aspx>. [Último acceso: 1 Junio 2021].
- [30] Metalmecánica, 2016. [En línea]. Available: <https://www.metalmecanica-facil.mahtg.com/velocidad-de-corte-maquinas-herramientas/>.
- [31] G. Vander y G. Lucas, «Metallography and Microstructures of Stainless Steels and Maraging Steels,» *ASM Handbook, Metallography and Microstructures*, vol. 9, pp. 670-700, 2004.
- [32] Lincoln, AWS, Cleveland, 2020.
- [33] FARAH-MICHEL, DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN HERRAMENTALES DE CORTE ENDURECIDOS POR EL PROCESO DE

BORURIZACIÓN EN PASTA, México DF: INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY , 2016.

- [34] SANDVIK, «Herramientas de torneado,» pp. 1-529, 2012.
- [35] SECO, TORNEADO, Fagersta, 2020.
- [36] MITSUBISHI, «Catálogo general,» pp. 1-1352, 2015.
- [37] ISCAR, «Turning,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.iscarib.es/Products.aspx/countryid/14/ProductId/5435>. [Último acceso: 26 Abril 2021].
- [38] KORLOY, «HERRAMIENTAS DE CORTE,» pp. 1-46, 2013.
- [39] BOHMAN, CATÁLOGO 2020 - 2021, DAULE, 2020.
- [40] N. Larburu, Máquinas Prontuario, Thompson, 2001.
- [41] KOMET, «Catalogo de insertos intercambiables,» pp. 1-92, 2014.
- [42] SIN PAR, «Catálogo general de mecanizado con insertos,» pp. 1-108, 2016.



## ANEXOS

### Anexo 1. Material de aporte ER312

# Lincoln® ER312

Inoxidable • AWS ER312

#### Características Principales

- ▶ Aleación adecuada para la unión de aleaciones forjadas o fundidas de composición química similar.
- ▶ Puede ser usada para uniones de alta resistencia en materiales base disímiles.
- ▶ En la aplicación se deberá limitar a una temperatura máxima de 800°F (420°C).
- ▶ El depósito de soldadura presenta alta resistencia a la tensión.

#### Conformidad

AWS A5.9/A5.9M: 2006: ER312  
ISO 14343: 2009: (29 9)

#### Aplicaciones Típicas

- ▶ Aceros para herramientas.
- ▶ Aceros de difícil soldabilidad.
- ▶ Aleaciones fundidas o forjadas.
- ▶ Aleaciones disímiles.

#### Posiciones de Soldadura

Todas

#### Gas de protección

100% Argón

### DIÁMETROS / EMPAQUE

Diámetro pulg. (mm)	10 lb. (4.5 kg.) Tubo 30 lb. (13.4 kg.) Caja Master
1/16 (1.6)	ED035217
3/32 (2.4)	ED035218
1/8 (3.2)	ED035219

### COMPOSICIÓN QUÍMICA<sup>(1)</sup> Tal como se requiere por AWS A5.9/A5.9M: 2006

	%C	%Cr	%Ni	%Mo	%Mn
Requerimiento AWS ER312	0.15 máx.	28.0 – 32.0	8.0 - 10.5	0.75 máx.	1.0 - 2.5
Resultados Típicos. <sup>(2)</sup>	0.11	29.6	8.9		1.6
	%Si	%P	%S	%Cu	NF
Requerimiento AWS ER312	0.30 - 0.65	0.03 máx.	0.03 máx.	0.75 máx.	No Requerido
Resultados Típicos. <sup>(2)</sup>	0.44	0.02	0.01	0.10	50 – 80

### PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES TÍPICOS

PROCESO	Diámetro pulg. (mm)	Voltaje (Volts)	Corriente (Amp)	Flujo de Gas	Gas
TIG	1/16 (1.6) 3/32 (2.4) 1/8 (3.2)		90-130 120-175 150-220	20-40 CFH	100% Argón

## Anexo 2. Material de aporte ER312

# Lincoln® ER410

Inoxidable • AWS ER410

### Características Principales

- ▶ Diseñado para soldar aceros inoxidables de composición similar así como para superponer aceros al Carbono para impartir resistencia a la corrosión erosión y abrasión.
- ▶ Este material, al ser un tipo que endurece al aire, requerirá una temperatura de precalentamiento y entre pasada de no menos de 400 ° F ( 200 ° C) durante la soldadura.

### Conformidad

AWS A5.9/A5.9M: 2006: ER410  
ISO 14343: 2009: 13

### Aplicaciones Típicas

- ▶ Recubrimiento de rodillos de laminación
- ▶ Hornos y piezas de quemadores
- ▶ Partes de turbina

### Posiciones de Soldadura

Todas

### Gas de protección

100% Argón

### DIÁMETROS / EMPAQUE

Díámetro pulg. (mm)	10 lb. (4.5 kg.) Tubo 30 lb. (13.4 kg.) Caja Master
1/16 (1.6) 3/32 (2.4) 1/8 (3.2)	ED035244 ED035245 ED035246

### COMPOSICIÓN QUÍMICA<sup>(1)</sup> Tal como se requiere por AWS A5.9/A5.9M: 2006

	%C	%Cr	%Ni	%Mo	%Mn
Requerimiento AWS ER410	0.12 máx.	11.5 - 13.5	0.06 máx.	0.75 máx.	0.6 máx
Resultados Típicos. <sup>(2)</sup>	0.11	12.5	0.1	0.03	0.45
	%Si	%P	%S	%Cu	
Requerimiento AWS ER410	0.5 máx.	0.03 máx.	0.03 máx.	0.75 máx.	
Resultados Típicos. <sup>(2)</sup>	0.39	0.01	0.01	0.14	

### PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES TÍPICOS

PROCESO	Díámetro pulg. (mm)	Voltaje (Volts)	Corriente (Amp)	Flujo de Gas	Gas
TIG	1/16 (1.6) 3/32 (2.4) 1/8 (3.2)		60-85 120-175 150-220	20-40 CFH	100% Argón

### Anexo 3. Características de insertos para tornos






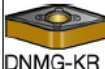

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																																																																																																																																																																																																																																																				
MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA																																																																																																																																																																																																																																																						
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL MATERIAL BASE</b>																																																																																																																																																																																																																																																						
<b>Ejecutado por:</b>		Ing. Mayra Salazar		<b>Operario</b>																																																																																																																																																																																																																																																		
<b>Lugar de la práctica</b>		CIRT-CELEC EP		<b>Fecha de ejecución</b>																																																																																																																																																																																																																																																		
				Stalin Chicaiza																																																																																																																																																																																																																																																		
				03/02/2021																																																																																																																																																																																																																																																		
<b>CARACTERÍSTICAS</b>																																																																																																																																																																																																																																																						
Código		T1D.																																																																																																																																																																																																																																																				
Empleo		Desbaste																																																																																																																																																																																																																																																				
Tipo		Rómbica 55°																																																																																																																																																																																																																																																				
Material a desbastar		Acero Inoxidable																																																																																																																																																																																																																																																				
Ángulo de incidencia		0°																																																																																																																																																																																																																																																				
Tolerancia del espesor		±0.13																																																																																																																																																																																																																																																				
Tolerancias laterales		±0.5																																																																																																																																																																																																																																																				
Tipo de plaquita																																																																																																																																																																																																																																																						
Longitud de filo		16 mm																																																																																																																																																																																																																																																				
Espesor de la plaquita		4.76 mm																																																																																																																																																																																																																																																				
Radio de la punta		1.2 mm																																																																																																																																																																																																																																																				
<b>ESPECIFICACIÓN</b>																																																																																																																																																																																																																																																						
				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6" style="background-color: #e0ffff;">P</th> <th colspan="5" style="background-color: #ffffe0;">M</th> <th colspan="4" style="background-color: #ffe0e0;">K</th> <th colspan="5" style="background-color: #fff0e0;">S</th> </tr> <tr> <th>GC</th><th>GC</th><th>GC</th><th>GC</th><th>GC</th><th>CT</th> <th>GC</th><th>GC</th><th>GC</th><th>GC</th><th>GC</th><th>GC</th> <th>GC</th><th>GC</th><th>GC</th><th>GC</th> <th>GC</th><th>GC</th><th>GC</th><th>GC</th><th>GC</th><th>GC</th> </tr> <tr> <th>1515</th><th>1525</th><th>4205</th><th>4215</th><th>4225</th><th>4235</th> <th>5015</th><th>1115</th><th>1125</th><th>2015</th><th>2025</th><th>2035</th> <th>235</th><th>3005</th><th>3205</th><th>3210</th> <th>3215</th><th>H13A</th><th>1105</th><th>1115</th><th>1125</th><th>H10A</th> <th>H13A</th><th>S05F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>☆</td><td>☆</td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>☆</td><td>☆</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>☆</td><td>☆</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>☆</td><td>☆</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>☆</td><td>☆</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>☆</td><td>☆</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>☆</td><td>☆</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>☆</td><td>☆</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>		P						M					K				S					GC	GC	GC	GC	GC	CT	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	1515	1525	4205	4215	4225	4235	5015	1115	1125	2015	2025	2035	235	3005	3205	3210	3215	H13A	1105	1115	1125	H10A	H13A	S05F	☆	☆									☆	☆																								☆	☆																								☆	☆																								☆	☆																								☆	☆																								☆	☆																								☆	☆													
P						M					K				S																																																																																																																																																																																																																																							
GC	GC	GC	GC	GC	CT	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC																																																																																																																																																																																																																																	
1515	1525	4205	4215	4225	4235	5015	1115	1125	2015	2025	2035	235	3005	3205	3210	3215	H13A	1105	1115	1125	H10A	H13A	S05F																																																																																																																																																																																																																															
☆	☆									☆	☆																																																																																																																																																																																																																																											
										☆	☆																																																																																																																																																																																																																																											
										☆	☆																																																																																																																																																																																																																																											
										☆	☆																																																																																																																																																																																																																																											
										☆	☆																																																																																																																																																																																																																																											
										☆	☆																																																																																																																																																																																																																																											
										☆	☆																																																																																																																																																																																																																																											
		ISO		15 1/2		ANSI																																																																																																																																																																																																																																																
 DNMG-MR		DNMG 15 04 08-MR		15 1/2		☆																				DNMG 432-MR																																																																																																																																																																																																																												
		DNMG 15 04 12-MR		15 1/2		☆																				DNMG 433-MR																																																																																																																																																																																																																												
		DNMG 15 04 16-MR		15 1/2		☆																				DNMG 434-MR																																																																																																																																																																																																																												
		DNMG 15 06 08-MR		15 1/2		☆																				DNMG 442-MR																																																																																																																																																																																																																												
		DNMG 15 06 12-MR		15 1/2		☆																				DNMG 443-MR																																																																																																																																																																																																																												
		DNMG 15 06 16-MR		15 1/2		☆																				DNMG 444-MR																																																																																																																																																																																																																												
 DNMM-MR		DNMM 15 06 08-MR		15 1/2		☆																				DNMM 442-MR																																																																																																																																																																																																																												
		DNMM 15 06 12-MR		15 1/2		☆																				DNMM 443-MR																																																																																																																																																																																																																												
		DNMM 15 06 16-MR		15 1/2		☆																				DNMM 444-MR																																																																																																																																																																																																																												
 DNMG-KR		DNMG 15 04 08-KR		15 1/2		☆																				DNMG 432-KR																																																																																																																																																																																																																												
		DNMG 15 04 12-KR		15 1/2		☆																				DNMG 433-KR																																																																																																																																																																																																																												
		DNMG 15 06 08-KR		15 1/2		☆																				DNMG 442-KR																																																																																																																																																																																																																												
		DNMG 15 06 12-KR		15 1/2		☆																				DNMG 443-KR																																																																																																																																																																																																																												
		DNMG 15 06 16-KR		15 1/2		☆																				DNMG 444-KR																																																																																																																																																																																																																												
 DNMA-KR		DNMA 15 04 08-KR		15 1/2		☆																				DNMA 432-KR																																																																																																																																																																																																																												
		DNMA 15 04 12-KR		15 1/2		☆																				DNMA 433-KR																																																																																																																																																																																																																												
		DNMA 15 06 08-KR		15 1/2		☆																				DNMA 442-KR																																																																																																																																																																																																																												
		DNMA 15 06 12-KR		15 1/2		☆																				DNMA 443-KR																																																																																																																																																																																																																												
		DNMA 15 06 16-KR		15 1/2		☆																				DNMA 444-KR																																																																																																																																																																																																																												

Figura 1. Plaquetas empleadas SANDVIK. [31]



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



MAESTRÍA EN MECÁNICA  
MENCION: MANUFACTURA

**DATOS INFORMATIVOS DEL MATERIAL BASE**

<b>Ejecutado por:</b>	Ing. Mayra Salazar	<b>Operario</b>	Stalin Chicaiza
<b>Lugar de la práctica</b>	CIRT-CELEC EP	<b>Fecha de ejecución</b>	03/02/2021




**CARACTERÍSTICAS**

Referencia	T2D.
Forma de plaquita	Rómbica 55°
Angulo de inclinación	0°
Tolerancia del espesor	±0.13
Tolerancias del círculo inscrito	±0.08
Tipo	
Espesor	4.76 mm
Radio de punta	0.8 mm
Designación interna	Medio
Aplicación	Acabado

**ESPECIFICACIÓN**

Plaquitas	Referencia	RE	Calidades																									
			Recubierta														Cermet		No recub.									
			TP6501	TP1501	TP2501	TP3501	TP25	TP200	TP40	TM1501	TM2501	TM3501	TM2000	TM4000	TK1501	TS2000	TS2050	TS2500	TH1000	TH1500	CP200	CP500	CP600	TP1030	TP1020	HX	KX	883
DNMA	DNMA150408	0.8																										
	DNMA150608	0.8																										
	DNMA150612	1.2																										
DNMA-MR9	DNMA150412-MR9	1.2																										
	DNMA150612-MR9	1.2																										
DNMG-FF1	DNMG150604-FF1	0.4																										
DNMG-FF2	DNMG150404-FF2	0.4																										
	DNMG150408-FF2	0.8																										
	DNMG150604-FF2	0.4																										
	DNMG150608-FF2	0.8																										
DNMG-MF1	DNMG150404-MF1	0.4																										
	DNMG150408-MF1	0.8																										
	DNMG150604-MF1	0.4																										
	DNMG150608-MF1	0.8																										

Figura 2. Plaquitas empleadas. [33]

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>								
<b>MAESTRÍA EN MECÁNICA</b> <b>MENCIÓN: MANUFACTURA</b>										
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL MATERIAL BASE</b>										
<b>Ejecutado por:</b>	Ing. Mayra Salazar	<b>Operario</b>	Stalin Chicaiza							
<b>Lugar de la práctica</b>	CIRT-CELEC EP	<b>Fecha de ejecución</b>	03/02/2021							
<b>CARACTERÍSTICAS A SELECCIONAR</b>										
Material a desbastar	Acero Inoxidable									
Código	T3D									
Forma de plaquita	Rómbica 55°									
Angulo de Incidencia	0°									
Tolerancia del espesor	±0.13									
Tolerancias del circulo inscrito	±0.08									
Tipo										
Espesor	3.65 mm									
Radio de la punta	0.8 mm									
Condición de filo	Redondeados									
Material a operar	Acero Inoxidable									
<b>ESPECIFICACIÓN</b>										
<b>Code</b>	<b>Chip Breaker</b>	<b>Pramet Grade</b>	<b>Feed</b>	<b>Depth of Cut</b>	<b>P</b>	<b>M</b>	<b>K</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>H</b>
<b>DNMG - Medium</b>										
DNMG 110408	E-NM	T8315	0.18-0.35	0.80-3.30	0	0	0	0	0	0
DNMG 110408	E-SM	T8330	0.18-0.35	0.80-3.30	0	0	0	0	0	0
DNMG 110408	E-SM	T9325	0.18-0.35	0.80-3.30	0	0	0	0	0	0
DNMG 150604	E-NM	T8315	0.18-0.24	0.40-3.50	0	0	0	0	0	0
DNMG 150604	E-SM	T8330	0.18-0.24	0.40-3.50	0	0	0	0	0	0
DNMG 150604	E-SM	T9325	0.18-0.24	0.40-3.50	0	0	0	0	0	0
DNMG 150608	E-NM	T8315	0.20-0.40	0.80-4.00	0	0	0	0	0	0
DNMG 150608	E-SM	T8330	0.20-0.40	0.80-4.00	0	0	0	0	0	0
DNMG 150608	E-SM	T9325	0.20-0.40	0.80-4.00	0	0	0	0	0	0

**Figura 3.** Plaquetas empleadas. [33]



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA




MAESTRÍA EN MECÁNICA  
MENCIÓN: MANUFACTURA

**DATOS INFORMATIVOS DEL MATERIAL BASE**

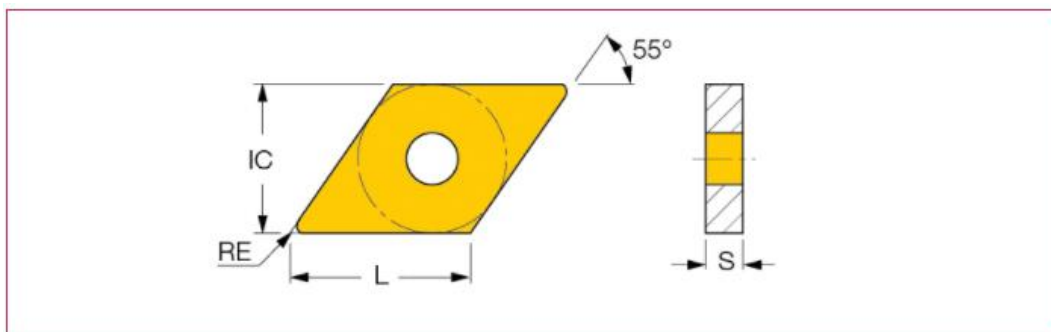
<b>Ejecutado por:</b>	Ing. Mayra Salazar	<b>Operario</b>	Stalin Chicaiza
<b>Lugar de la práctica</b>	CIRT-CELEC EP	<b>Fecha de ejecución</b>	03/02/2021

**CARACTERÍSTICAS**

Material a mecanizar	Acero inoxidable
Código	T4D
Aplicación	Torneado
Forma	Rómbico 55°
Ángulo de incidencia	0°
Geometría de corte	
Espesor de la placa	4.76 mm
Radio de la punta	0.4 mm

**ESPECIFICACIÓN**

Denominación	l	dl	S	r	ft (min)	ft (max)	ap (min)	ap (max)	Tough ←-----→ Hard Calidad y Vc
DNMG 110404-TF	11.63	9.52	4.76	0.40	0.12	0.30	1.00	3.00	<a href="#">IC8250</a> <a href="#">IC9250</a> <a href="#">IC530</a>
DNMG 110412-TF	11.63	9.52	4.76	1.20	0.15	0.35	1.50	4.00	<a href="#">IC8250</a>
DNMG 150404-TF	15.50	12.70	4.76	0.40	0.15	0.30	1.00	3.00	<a href="#">IC830</a> <a href="#">IC8250</a> <a href="#">IC9250</a>
DNMG 150408-TF	15.50	12.70	4.76	0.80	0.15	0.30	1.00	3.50	<a href="#">IC830</a> <a href="#">IC6025</a> <a href="#">IC8250</a> <a href="#">IC806</a> <a href="#">IC807</a> <a href="#">IC907</a>
DNMG 150412-TF	15.50	12.70	4.76	1.20	0.12	0.40	1.50	4.00	<a href="#">IC8250</a>
DNMG 150604-TF	15.50	12.70	6.35	0.40	0.14	0.30	1.00	3.00	<a href="#">IC6025</a> <a href="#">IC8250</a> <a href="#">IC9250</a> <a href="#">IC907</a>
DNMG 150608-TF	15.50	12.70	6.35	0.80	0.15	0.30	1.00	3.50	<a href="#">IC830</a> <a href="#">IC6025</a> <a href="#">IC8250</a> <a href="#">IC806</a> <a href="#">IC807</a> <a href="#">IC907</a>
DNMG 150612-TF	15.50	12.70	6.35	1.20	0.11	0.35	1.50	4.00	<a href="#">IC830</a> <a href="#">IC6025</a> <a href="#">IC8250</a> <a href="#">IC807</a> <a href="#">IC907</a>
DNGG 150404-TF	15.50	12.70	4.76	0.40	0.15	0.30	1.00	3.00	<a href="#">IC907</a>
DNGG 150408-TF	15.50	12.70	4.76	0.80	0.15	0.30	1.00	3.50	<a href="#">IC907</a>





**Figura 4.** Plaquetas empleadas. [34]

## Anexo 4. Características de insertos para fresadora

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN: MANUFACTURA							
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL MATERIAL BASE</b>							
<b>Ejecutado por:</b>		Ing. Mayra Salazar		<b>Operario</b>			
<b>Lugar de la práctica</b>		CIRT-CELEC EP		<b>Fecha de ejecución</b>			
				Stalin Chicaiza			
				03/02/2021			
<b>CARACTERÍSTICAS A SELECCIONAR</b>							
Material a desbastar			Acero Inoxidable				
Grado			F1D				
Tipo de material			Martensítico				
Tipo de corte			Continuo				
Empleo			Desbaste				
Grado recomendado			PC5300				
Velocidad de corte min. mm/min			110				
ISO			M30				
Geometría			MM				
Diámetro de la herramienta disponible			80 mm				
<b>ESPECIFICACIÓN</b>							
<b>APMT-MM</b>							
		060202PDSR	090320R	160410PDSR	180620PDSR		
		0602PDSR	090331R	160416PDSR	180624PDSR		
		060208PDSR	090332R	160424R	180630R		
		060212R	11T3PDSR	160430R	180632R		
		060216R	11T308PDSR	160432R	180640R		
		0903PDSR	11T312PDSR	160450R	180648R		
		090306PDSR	11T316R	160464R	180650R		
		090308PDSR	11T318R	1806PDSR	180660R		
		090312R	11T324R	180612PDSR	180664R		
		090316R	1604PDSR	180616PDSR			
		Geometría		Rango de aplicación			
		Filo de corte		Rango de avance(mm/rev)			
				0.04 0.063 0.10 0.16 0.25 0.4 0.63 1.0 1.6 2.5 4.0 6.3			
		Serie RichMill-RMT MM		Profundidad de corte(mm)			
				0.1 0.16 0.25 0.4 0.63 1.0 1.6 2.5 4.0 6.3 10.0 11.6 13			
				0.05-0.30			
		0.5-8.0					
		Para maquinado medio y fresado					
		• Diseño de geometría apropiado para un fresado general cubriendo un amplio rango de maquinados					

Figura 5. Plaquetas empleadas para fresado. [32]



		APMT-MM										APMT-MF					
																	
Codigo	Recubierto										Cermet			Sin Rec.			
	NCM325	NCM335	NC5330	PC3500	PC5300	PC3545	PC9630	PC6510	PC215K	PD2000	CN2000	CN20	CN30	H01	G10	ST30A	ST20
APMT 1604PDSR-MM	●		●	●	●	●	●	●									
1604PDSR-MF	●		●	●	●	●											
160410PDSR-MM	●		●	●	●	●											
160416PDSR-MM	●		●	●	●	●											
160424R-MM	●		●	●	●	●											
160430R-MM	●		●	●	●	●											
160432R-MM	●		●	●	●	●											

Pieza Trabajo	Grados	Fig.	Diametro Herramienta							
			Ø20, 25		Ø32, 40		Ø50, 63		Ø80, 100	
			vc(m/min)	fz(mm/t)	vc(m/min)	fz(mm/t)	vc(m/min)	fz(mm/t)	vc(m/min)	fz(mm/t)
Acero bajo carbon Acero Suave	NCM325 PC3500	①	80~100	0.05~0.08	100~120	0.05~0.08	100~120	0.05~0.08	100~120	0.05~0.08
		②	100~120	0.08~0.10	120~140	0.08~0.10	120~140	0.08~0.10	120~140	0.08~0.10
		③	100~120	0.10~0.15	140~140	0.10~0.15	120~140	0.10~0.15	130~150	0.10~0.15
Acero alto carbon Aleacion Acero	NCM325 PC3500	①	60~80	0.05	80~100	0.05	80~100	0.05	80~100	0.05
		②	80~100	0.05~0.08	100~120	0.08~0.10	100~120	0.08~0.10	100~120	0.08~0.10
		③	80~100	0.10~0.15	110~130	0.10~0.15	100~120	0.10~0.15	110~130	0.10~0.15
Aleaciones de Acero	NCM325 PC3500	①	50~70	0.05	70~90	0.05	70~90	0.05	70~90	0.05
		②	60~80	0.05~0.08	90~120	0.05~0.08	100~120	0.05~0.08	100~120	0.05~0.08
		③	90~110	0.12~0.18	100~130	0.10~0.15	100~120	0.10~0.15	110~130	0.10~0.15
Acero Inoxidable	PC5300 PC9530	①	50~70	0.054	70~90	0.05	70~90	0.05	70~90	0.05
		②	60~80	0.05~0.08	90~120	0.05~0.08	100~120	0.05~0.08	100~120	0.05~0.08
		③	90~110	0.10~0.15	100~130	0.10~0.15	110~130	0.10~0.15	110~130	0.10~0.15
Fundición	PC6510 PC5300	①	70~90	0.10~0.12	70~90	0.10~0.12	90~120	0.10~0.12	90~120	0.10~0.12
		②	80~100	0.12	90~120	0.12	100~140	0.12	100~140	0.12
		③	80~100	0.15~0.2	100~130	0.15~0.20	120~150	0.15~0.20	120~150	0.15~0.20
Aleacion Aluminio	H01	①	200~800	0.10~0.2	300~900	0.10~0.20	400~1,000	0.10~0.20	400~1,000	0.10~0.20
		②	250~900	0.15~0.3	300~950	0.15~0.3	400~1,000	0.10~0.40	400~1,000	0.10~0.40
		③	250~900	0.15~0.3	300~950	0.15~0.3	400~1,000	0.10~0.40	400~1,000	0.10~0.40
Acero Endurecido	PC3545 PC5300	①	50~70	0.03	60~90	0.03	60~90	0.03	60~90	0.03
		②	60~80	0.05~0.08	80~100	0.05~0.08	80~100	0.05~0.08	80~100	0.05~0.08
		③	80~100	0.05~0.08	80~100	0.05~0.08	80~100	0.05~0.08	80~100	0.05~0.08

Figura 6. Rangos del material empleado para fresado. [32]





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



MAESTRÍA EN MECÁNICA  
MENCIÓN: MANUFACTURA

**DATOS INFORMATIVOS DEL MATERIAL BASE**

<b>Ejecutado por:</b>	Ing. Mayra Salazar	<b>Operario</b>	Stalin Chicaiza
<b>Lugar de la práctica</b>	CIRT-CELEC EP	<b>Fecha de ejecución</b>	03/02/2021

**CARACTERÍSTICAS A SELECCIONAR**

Material a desbastar	Acero Inoxidable
Grado	F2D
Tipo de material	Martensítico
Tipo de corte	Continuo
Empleo	Desbaste
Grado recomendado	PC5300
Velocidad de corte min. mm/min	110
ISO	M30
Geometría	MM
Diámetro de la herramienta disponible	80 mm

**ESPECIFICACIÓN**



**APMT-MM**



060202PDSR	090320R	160410PDSR	180620PDSR
0602PDSR	090331R	160416PDSR	180624PDSR
060208PDSR	090332R	160424R	180630R
060212R	11T3PDSR	160430R	180632R
060216R	11T308PDSR	160432R	180640R
0903PDSR	11T312PDSR	160450R	180648R
090306PDSR	11T316R	160464R	180650R
090308PDSR	11T318R	1806PDSR	180660R
090312R	11T324R	180612PDSR	180664R
090316R	1604PDSR	180616PDSR	

Geometría	Filo de corte	Rango de aplicación											Características	
		Rango de avance(mm/rev)												
		Profundidad de corte(mm)												
Serie RichMill-RMT MM		0.04	0.083	0.10	0.16	0.25	0.4	0.63	1.0	1.6	2.5	4.0	6.3	Para maquinado medio y fresado  • Diseño de geometría apropiado para un fresado general cubriendo un amplio rango de maquinados
		0.1	0.16	0.25	0.4	0.63	1.0	1.6	2.5	4.0	6.3	10.0	11.6	
		0.05~0.30				0.5~8.0								

**Figura 7.** Plaquetas II empleadas para fresado según KORLOY. [32]

		APMT-MM										APMT-MF					
																	
Tipo	Codigo	Recubierto										Cermet			Sin Rec.		
		NCM325	NCM335	NC5330	PC3500	PC5300	PC3545	PC9530	PC6510	PC215K	PD2000	CN2000	CN20	CN30	H01	G10	ST30A
1000 Tipo	APMT 060202PDSR-MM			●	●	●	●										
	0602PDSR-MM			●	●	●	●	●		●							
	060208PDSR-MM			●	●	●	●	●									
	060212R-MM			●	●	●	●	●									
2000 Tipo	APMT 11T3PDSR-MM	●		●	●	●	●	●		●							
	11T3PDSR-MF	●		●	●	●	●	●									
	11T308PDSR-MM	●		●	●	●	●	●									
	11T312PDSR-MM	●		●	●	●	●	●									
	11T316R-MM	●		●	●	●	●	●									
	11T318R-MM			●	●	●	●	●									
	11T324R-MM			●	●	●	●	●									

Pieza Trabajo	Grados	Fig.	Diametro Herramienta							
			Ø20, 25		Ø32, 40		Ø50, 63		Ø80, 100	
			vc(m/min)	fz(mm/t)	vc(m/min)	fz(mm/t)	vc(m/min)	fz(mm/t)	vc(m/min)	fz(mm/t)
Acero bajo carbon Acero Suave	NCM325 PC3500	①	80~100	0.05~0.08	100~120	0.05~0.08	100~120	0.05~0.08	100~120	0.05~0.08
		②	100~120	0.08~0.10	120~140	0.08~0.10	120~140	0.08~0.10	120~140	0.08~0.10
		③	100~120	0.10~0.15	140~140	0.10~0.15	120~140	0.10~0.15	130~150	0.10~0.15
Acero alto carbon Aleacion Acero	NCM325 PC3500	①	60~80	0.05	80~100	0.05	80~100	0.05	80~100	0.05
		②	80~100	0.05~0.08	100~120	0.08~0.10	100~120	0.08~0.10	100~120	0.08~0.10
		③	80~100	0.10~0.15	110~130	0.10~0.15	100~120	0.10~0.15	110~130	0.10~0.15
Aleaciones de Acero	NCM325 PC3500	①	50~70	0.05	70~90	0.05	70~90	0.05	70~90	0.05
		②	60~80	0.05~0.08	90~120	0.05~0.08	100~120	0.05~0.08	100~120	0.05~0.08
		③	90~110	0.12~0.18	100~130	0.10~0.15	100~120	0.10~0.15	110~130	0.10~0.15
Acero Inoxidable	PC5300 PC9530	①	50~70	0.054	70~90	0.05	70~90	0.05	70~90	0.05
		②	60~80	0.05~0.08	90~120	0.05~0.08	100~120	0.05~0.08	100~120	0.05~0.08
		③	90~110	0.10~0.15	100~130	0.10~0.15	110~130	0.10~0.15	110~130	0.10~0.15
Fundición	PC6510 PC5300	①	70~90	0.10~0.12	70~90	0.10~0.12	90~120	0.10~0.12	90~120	0.10~0.12
		②	80~100	0.12	90~120	0.12	100~140	0.12	100~140	0.12
		③	80~100	0.15~0.2	100~130	0.15~0.20	120~150	0.15~0.20	120~150	0.15~0.20
Aleacion Aluminio	H01	①	200~800	0.10~0.2	300~900	0.10~0.20	400~1,000	0.10~0.20	400~1,000	0.10~0.20
		②	250~900	0.15~0.3	300~950	0.15~0.3	400~1,000	0.10~0.40	400~1,000	0.10~0.40
		③	250~900	0.15~0.3	300~950	0.15~0.3	400~1,000	0.10~0.40	400~1,000	0.10~0.40
Acero Endurecido	PC3545 PC5300	①	50~70	0.03	60~90	0.03	60~90	0.03	60~90	0.03
		②	60~80	0.05~0.08	80~100	0.05~0.08	80~100	0.05~0.08	80~100	0.05~0.08
		③	80~100	0.05~0.08	80~100	0.05~0.08	80~100	0.05~0.08	80~100	0.05~0.08

Figura 8. Rangos del material empleado para fresado II. [32]



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



MAESTRÍA EN MECÁNICA  
MENCIÓN: MANUFACTURA

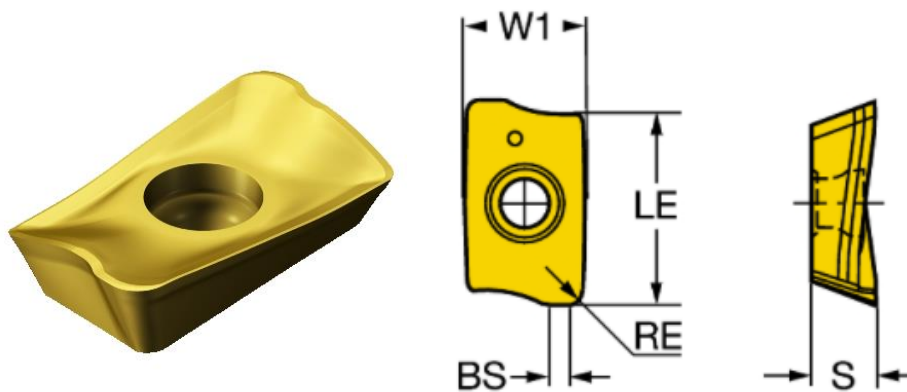
**DATOS INFORMATIVOS DEL MATERIAL BASE**

<b>Ejecutado por:</b>	Ing. Mayra Salazar	<b>Operario</b>	Stalin Chicaiza
<b>Lugar de la práctica</b>	CIRT-CELEC EP	<b>Fecha de ejecución</b>	03/02/2021

**CARACTERÍSTICAS A SELECCIONAR**

Código	F2D
Material de corte	Acero Inoxidable
Ángulo de ataque	90°
Ancho (W1)	6.8 mm
Largo (LE)	10 mm
Radio de las esquinas (RE)	0.8 mm
Espesor (S)	3.59 mm
Profundidad de corte máxima	10 mm
Longitud de filo (BS)	1.2 mm
Velocidad de corte min. mm/min	240 – 255 m/min
Inserto	Intercambiable

**ESPECIFICACIÓN**



**Figura 9.** Plaquetas empleadas para fresado. [36]



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



MAESTRÍA EN MECÁNICA  
MENCIÓN: MANUFACTURA

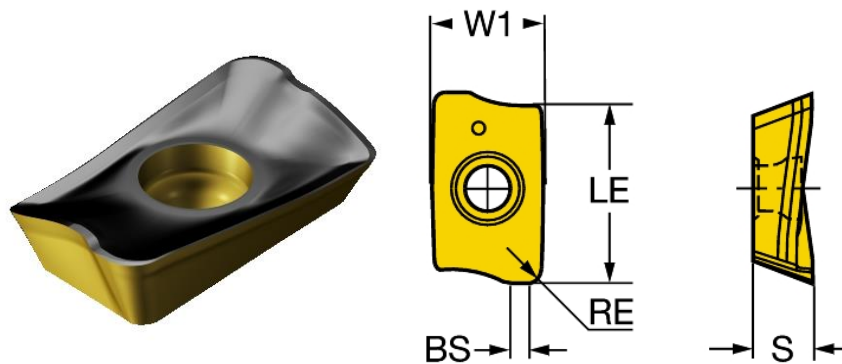
**DATOS INFORMATIVOS DEL MATERIAL BASE**

<b>Ejecutado por:</b>	Ing. Mayra Salazar	<b>Operario</b>	Stalin Chicaiza
<b>Lugar de la práctica</b>	CIRT-CELEC EP	<b>Fecha de ejecución</b>	03/02/2021

**CARACTERÍSTICAS A SELECCIONAR**

Código	F4D
Material de corte	Acero Inoxidable – Acero al Carbono
Grado	4230
Ángulo de ataque	90°
Ancho (W1)	6.8 mm
Largo (LE)	10 mm
Radio de las esquinas (RE)	1.0 mm
Espesor (S)	3.59 mm
Profundidad de corte máxima	10 mm
Longitud de filo (BS)	1.02 mm
Velocidad de corte min. mm/min	300 – 500 m/min
Inserto	Intercambiable

**ESPECIFICACIÓN**



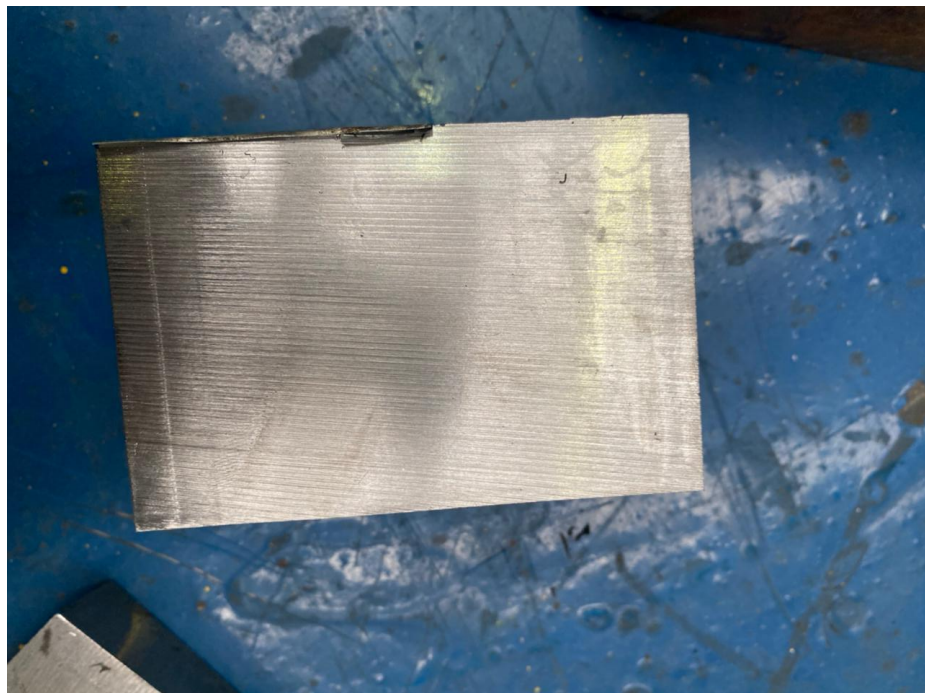
**Figura 10.** Plaquetas empleadas para fresado. [36]

## Anexo 5 Fotos de la práctica realizada

- Eje soldado quemado mediante el ensayo

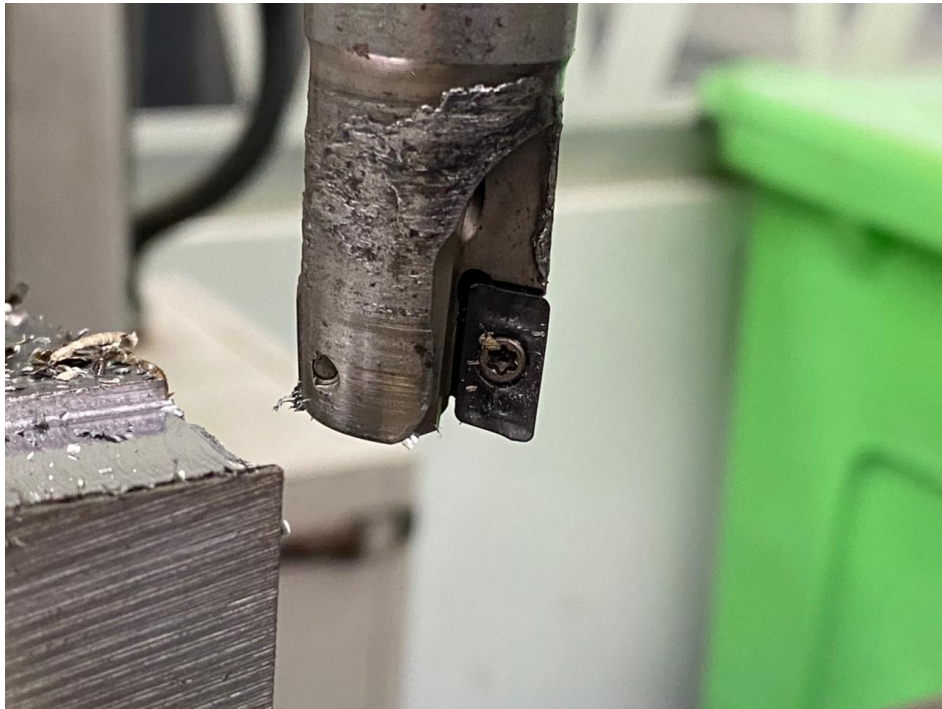


- Placa para el ensayo de fresado





- **Inserto en la fresadora**



- **Puesta en punto para empezar con el mecanizado**



- **Mecanizado de la placa**

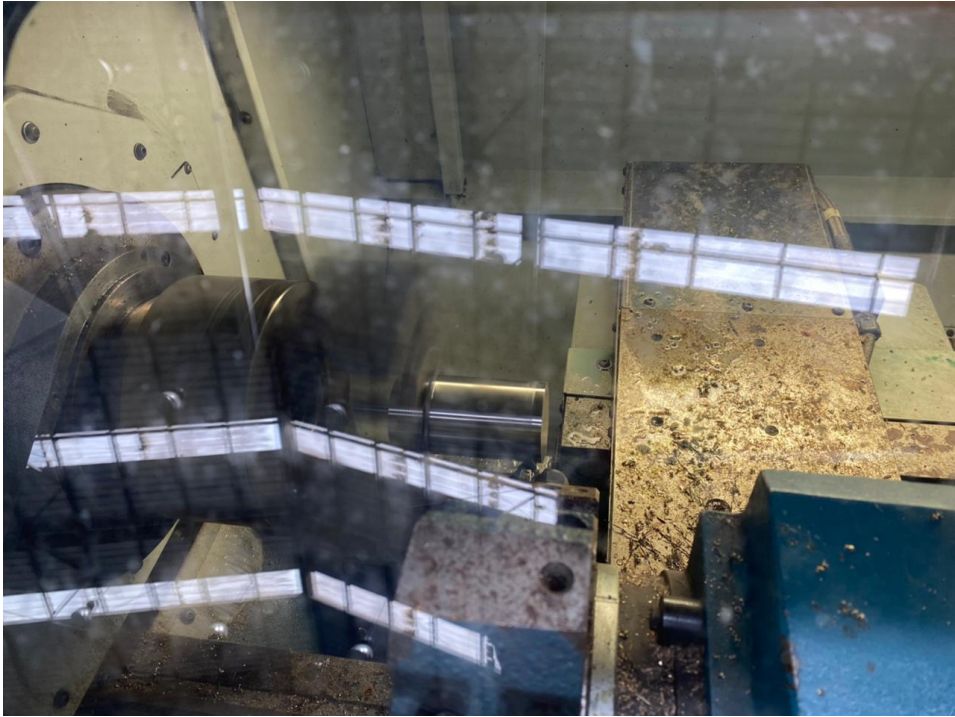


- **Montaje del eje en el torno**





- **Chaflanado del eje**



- **Eje cilindrado**

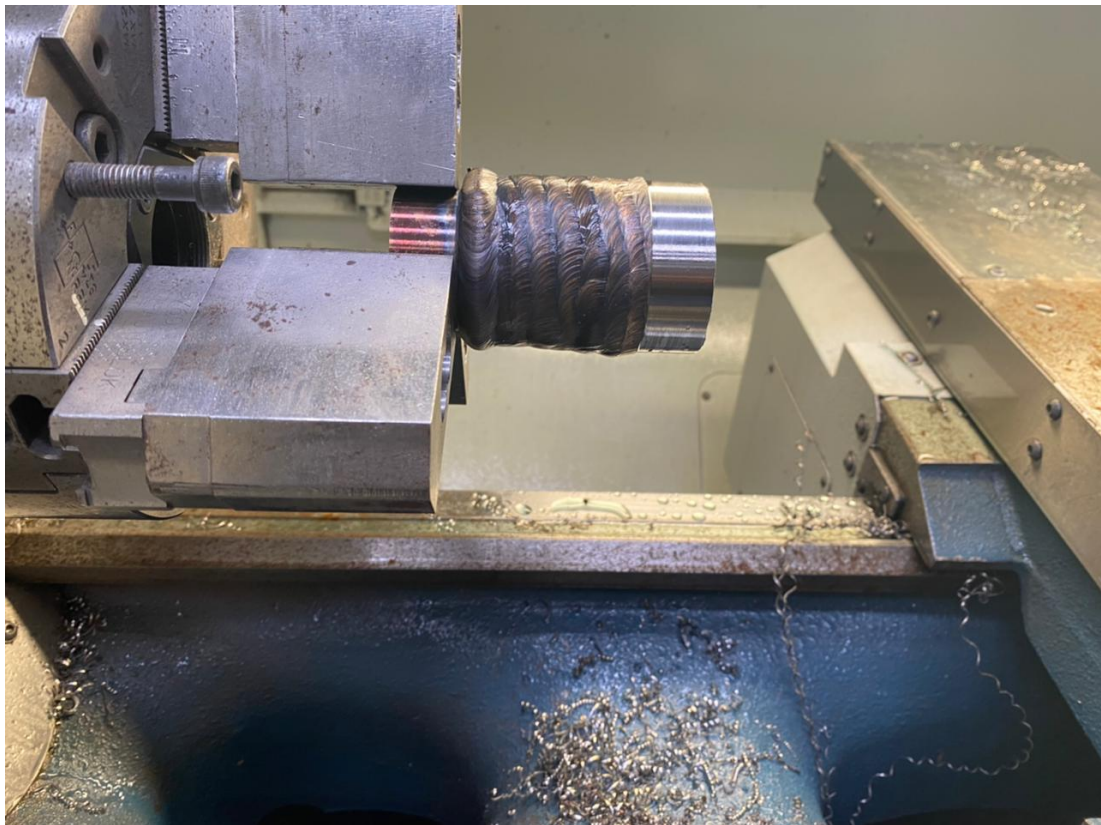


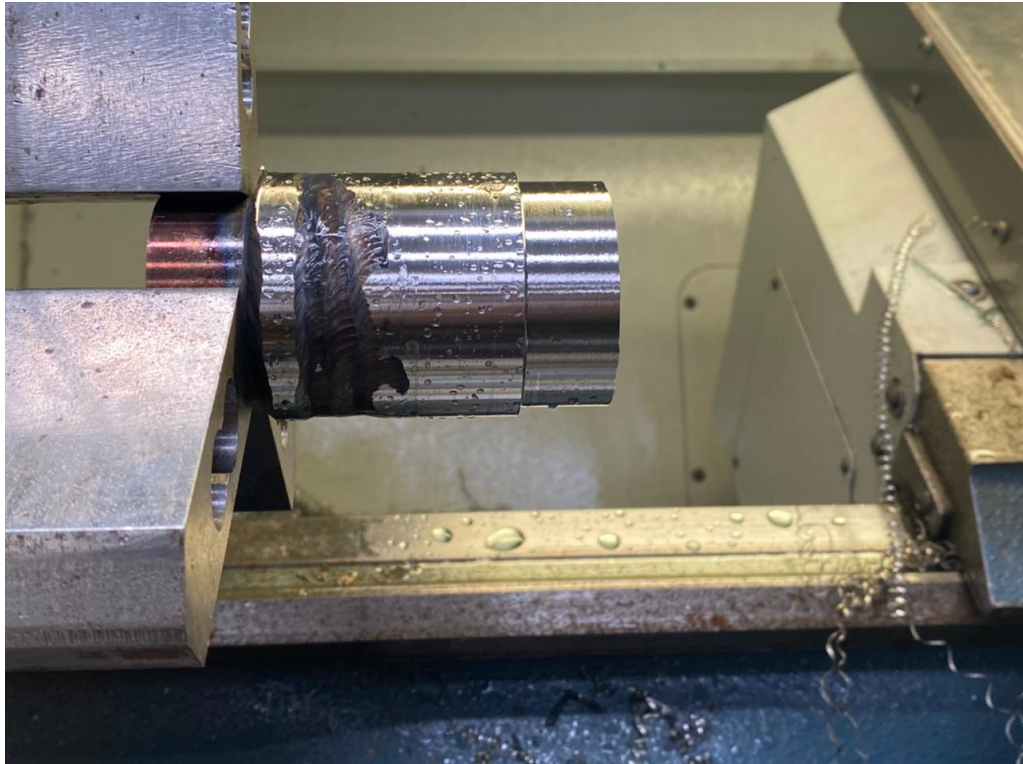


- **Presentación de eje soldado**



- **Mecanizado de eje soldado**





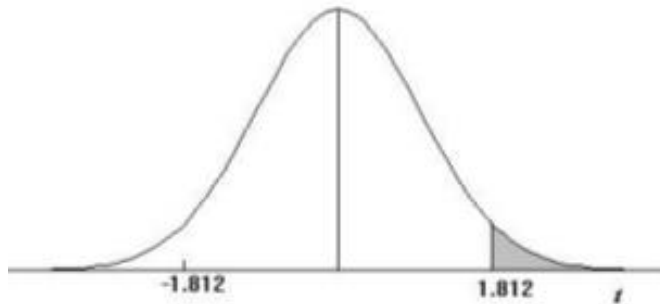
- Monitor



Anexo 6. Valores de t-student

TABLA 2: DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT

Puntos de porcentaje de la distribución t



Ejemplo

Para  $\phi = 10$  grados de libertad:

$$P\{t > 1.812\} = 0.05$$

$$P\{t < -1.812\} = 0.05$$

$\alpha$ r	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,478	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
$\infty$	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,290



## Anexo 7. Análisis de peligros

### Estudio de la peligrosidad

#### ANÁLISIS DE LOS PELIGROS

- MECÁNICO

Aplastamiento.  
Cizallamiento.  
Corte.  
Enganche.  
Atrapamiento.  
Impacto.  
Punzonamiento.  
Fricción-abrasión.  
Proyección de fluido.

- ELÉCTRICO

Cortocircuitos.  
Choque eléctrico.

- TÉRMICO

Quemaduras.  
Incendios.

- TÉRMICO

Quemaduras.  
Incendios.

- RUIDO-VIBRACIONES

- RADIACIONES

- HIGIÉNICO

- INCENDIO O EXPLOSIÓN

- BIOLÓGICO

- DEFECTOS ERGONÓMICOS

#### VALORACIONES DEL RIESGO

##### DETERMINACIÓN DE:

Probabilidad de materialización del riesgo en daño.

Gravedad de las consecuencias (la mayor gravedad previsible del daño).