

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE MEJORA A PARAMETROS DE MECANIZADO DE LAS  
HERRAMIENTAS DE CORTE UTILIZADAS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE  
LA EMPRESA AGM LTDA.**

Trabajo de Titulación para optar al Título  
de Técnico Universitario en MECANICA  
INDUSTRIAL

Alumno:

Rodrigo Ignacio Torres Valdés

Eduardo Abdón Venegas Escudero

Profesor Guía:

Ing José Carvallo Basaez

**2019**



## RESUMEN

KEYWORDS: MEJORA, PARAMETROS, TIEMPOS PRINCIPALES

El propósito de este trabajo es poder elaborar una propuesta de mejora a los parámetros de mecanizado que se utilizan en la empresa AGM. En el desarrollo de este, en una primera instancia, se da a conocer los antecedentes generales de la empresa donde está ubicada, su distribución y los procesos de fabricación que ahí se realizan, así mismo, se describen los centros de mecanizado en cuestión y se prosigue con identificar la problemática de este trabajo. Ya con la problemática definida se plantean dos propuestas de mejora para los parámetros de mecanizado utilizados en las máquinas CNC, una cuenta con utilizar los parámetros de los insertos que ya se encuentran en la empresa según lo recomienda el fabricante, y la siguiente propuesta es utilizar otros insertos de corte, en este caso, de la reconocida marca Sandvik con los parámetros que ellos recomiendan.

Para hacer el estudio y la comparativa entre los parámetros utilizados con los que proponemos y los que la herramienta Sandvik recomienda es que se procede a realizar un supuesto de una tarea de fabricación en la cual hace referencia a la preparación de placas de acero Bohler M238 para la fabricación de moldes de inyección. Teniendo esta tarea definida se procede a realizar los cálculos de tiempos de mecanizado, para tres casos;

- El primero se define el tiempo que demora esta operación con los parámetros utilizados en la empresa, el valor aproximado del cálculo es de 5,5 hrs.
- El segundo consta de realizar la operación con los parámetros calculados según fabricante Kyocera, el valor aproximado del cálculo es de 1,3 hrs.
- El tercer caso realizar la misma operación considerando ahora los insertos Sandvik con sus respectivos parámetros, el valor aproximado del cálculo es de 0,26 hrs.

Considerando los resultados obtenidos anteriormente es que se hace la relación costo-tiempo que lleva hacer la tarea mencionada anteriormente para poder definir cuál será la mejor propuesta para la empresa, considerando el tiempo que lleva la realización de la operación como el costo asociado a esta, ya sea en costos de herramientas, porta herramientas, costo de horas máquina como también costo de horas hombre. Analizando estos resultados se da como recomendación el uso de las placas Kyocera, con los parámetros de corte recomendados por fabricante que presenta un ahorro de tiempo de mecanizado de 4,1 hrs. y un ahorro de 1,1 UF por pieza. Esto se considera ya que el uso de nuevas placas de corte implica, como en el caso propuesto de Sandvik la necesidad de hacer compras de porta herramientas adecuadas a los nuevos insertos, además de desconocerse el número de piezas fabricadas al mes por lo que no se puede determinar en cuanto tiempo la inversión en estas nuevas placas será recuperada.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
OBJETIVO GENERAL .....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
<b>CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES .....</b>	<b>3</b>
1, ANTECEDENTES GENERALES .....	4
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA .....	4
1.1.1 Ubicación de la empresa.....	4
1.1.2 Distribución de la empresa .....	4
1.2 CENTROS DE MECANIZADO.....	7
1.2.1 Leadwell MCV – OP .....	7
1.2.2 Leadwell MCV – 760XL.....	8
1.3 HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL CENTRO DE MECANIZADO .....	9
1.3.1 Insertos de metal duro.....	9
1.4 MATERIALES UTILIZADOS .....	12
1.4.1 Acero Bohler k100.....	12
1.4.2 Acero Bohler M238 .....	12
1.5 CONDICIONES DE TRABAJO ACTUALES .....	13
<b>CAPÍTULO 2: CÁLCULO DE TIEMPOS DE MECANIZADO .....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO 2: CÁLCULO DE TIEMPOS DE MECANIZADO .....</b>	<b>18</b>
2.1 PARÁMETROS A CONSIDERAR .....	19
2.1.1 Velocidad de corte .....	19
2.1.2 Velocidad de avance.....	19
2.1.3 Profundidad .....	20
2.1.4 Tiempo de mecanizado .....	21
2.2 PREPARACIÓN ACERO BOHLER M238 CON PARÁMETROS UTILIZADOS POR LA EMPRESA.....	21
2.2.1 Cálculo de tiempo de mecanizado .....	21
2.3 PREPARACIÓN ACERO BOHLER M238 CON PARÁMETROS CORRESPONDIENTES A LA PLACA KYOCERA.....	23
2.3.1 Cálculo de profundidad .....	23
2.3.2 Cálculo de velocidad de avance.....	24
2.3.3 Cálculo de tiempos de mecanizado.....	24
2.4 PROPUESTA DE PARÁMETROS DE MECANIZADO CON HERRAMIENTAS SANDVIK COROMANT.....	26
2.4.1 Inserto Sandvik Coromant R390-11 T3 04M-PM 4340 .....	27
2.4.2 Porta-herramienta R390-032EH25-11L .....	29
2.4.3 Cálculo de velocidad de avance.....	30
2.4.4 Cálculo de profundidad Sandvik .....	30
2.4.5 Cálculo de tiempos de mecanizado.....	30

<b>CÁPITULO 3 : EVALUACION DE PROPUESTAS.....</b>	<b>34</b>
<b>CÁPITULO 3 : EVALUACION DE PROPUESTAS.....</b>	<b>36</b>
3.1 COSTOS ASOCIADOS A LA FABRICACION .....	36
3.1.1 Costos herramientas Kyocera .....	36
3.1.2. Costo herramienta Sandvik.....	37
3.1.3. Costo hora maquina .....	37
3.1.4. Costo hora hombre (HH) .....	38
3.2 DURABILIDAD DE LOS INSERTOS DE CORTE .....	38
3.3 COSTO TOTAL POR OPERACIÓN .....	40
3.3.1 Costo total insertos de corte.....	40
3.3.2 Costo total hora hombre .....	40
3.3.3 Costo cambio de herramienta .....	41
3.3.4 Costo monetario por pieza .....	41
3.4 ANALISIS DE RESULTADOS .....	43
3.5 PROPUESTA .....	43
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>44</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN .....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>46</b>

### ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1-1 Localización de la empresa AGM
Figura 1-2 Distribución de la empresa AGM
Figura 1-3: Productos fabricados en la empresa AGM
Figura 1-4 Soporte para proceso de perforado
Figura 1-5 Soporte de doblado para arco de Taca-Taca
Figura 1-6 Centro mecanizado MCV-OP operando en la empresa AGM
Figura 1-7 Imagen referencial centro mecanizado MCV- 760XI
Figura 1-8 Pegatina Insertos de metal duro Kyocera
Figura 1-9 Dimensiones inserto Kyocera
Figura 2-1 Dimensiones placa de acero Bohler M238
Figura 2-2: Fuerza específica de corte en (kgf/mm <sup>2</sup> )
Figura 2-3 Asistente para selección de herramientas Guide Tool
Figura 2-4 Representación genérica de Inserto Sandvik
Figura 2-5 Valores recomendados de avance por diente y velocidades de corte
Figura 2-6 Representación genérica portaherramientas Sandvik
Figura 3-1 Precio inserto Kyocera
Figura 3-2: Costo insertos y portaherramienta Sandvik

Figura 3-3 Mapa costo energía promedio por región

Figura 3-4 Vida Útil de insertos de corte Sandvik

### **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1-1 Especificaciones Leadwell MCV - OP

Tabla 1-2 Especificaciones Leadwell MCV – 760XL

Tabla 1-3 Parámetros de mecanizado Inserto Kyocera

Tabla 1-4 Dimensiones Inserto Kyocera

Tabla 1-5 Composición Química k100 [%]

Tabla 1-6 Composición Química m238 [%]

Tabla 1-7 Composición Química SAE 1045 [%]

Tabla 1-8 Parámetros teóricos y prácticos para operación de desbaste

Tabla 1-9 Parámetros teóricos y prácticos para operación de afino

Tabla 2-1 Condiciones de trabajo

Tabla 2-2 Parámetros utilizados en la empresa AGM

Tabla 2-3: Valores a utilizar para cálculos de avance

Tabla 2-4 Dimensiones de Inserto Sandvik Coromant R390-11 T3 04M-PM 4340

Tabla 2-5 Parámetros recomendados para Grado 4340 Sandvik

Tabla 2-6 Dimensiones porta-herramienta Sandvik R390D-032A32-11M

Tabla 3-1 Costo total insertos

Tabla 3-2 Costo total hora hombre

Tabla 3-3: Tabla resumen parámetros de mecanizado a considerar

Tabla 3-4: Analisis de costos de operacion

### **ÍNDICE DE GRAFICOS**

Gráfico 1-1: Velocidad de corte en operación de desbaste

Gráfico 1-2: Velocidad de corte en operación de afino

Gráfico 2-1: Comparacion de tiempos de mecanizad

### **SIGLAS Y SIMBOLOGÍA**

(ae): Ancho de corte – ancho de empalme

(AGM): Artículos deportivos Gacitua y Cia

(ap): Profundidad de corte

(CNC): Control numérico computarizado

(Dc): Diámetro fresa  
(DIN): Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización)  
(f): Avance por filo  
(FANUC): Es un sistema de control numérico que lleva el mismo nombre  
(Fz): Número de dientes  
(HB): Hardness Brinell (Dureza Brinell)  
(hh): horas hombre  
(Vc): Velocidad de corte  
(ISO): International Standardization Organization (Organización Internacional de Estandarización)  
(Ks): Fuerza Específica de corte  
(Kc1): Fuerza específica  
(L): Largo de la pieza  
(n): número de revoluciones  
(Pc): Potencia requerida  
(Pvd): Physical Vapor Deposition (Deposición en fase de vapor)  
(Rpm): Revoluciones por minuto  
(SAE): Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotrices)  
(Tp): Tiempo principal por pasada  
(vf): Avance de mesa  
(Watts): Unidad designada a la potencia  
(Zn): Cantidad de dientes  
(%): Porcentaje  
(Ø): Diámetro  
(\$): Pesos chilenos  
(cm): centímetro  
(kg): kilogramo  
(mm/f): milímetro por filo  
(m/min): metro por minuto  
( $N/mm^2$ ): Newton sobre milímetro cuadrado (Unidad de presión)  
(UF): unidades de fomento



## **INTRODUCCIÓN**

AGM Ltda. Nace como una empresa dedicada a la fabricación de mesas de Ping-Pong con la cual se ha mantenido en el mercado por más de 30 años. Es por este éxito y la gran demanda de productos que exige el mercado que se decide ampliar su variedad de productos e ingresar al mercado los denominados productos RTA (ready to assembly) que por sus siglas en inglés significa “listos para armar” teniendo mucho éxito en el mercado nacional.

Hoy en día AGM ofrece productos como mesas de Ping-Pong, Taca-Taca, estantes, escaleras, pisos, parrillas y discos para asados, muebles de oficina, mesas y sillas, donde en cada uno de estos productos se ha podido aplicar los tres factores que caracterizan a la empresa que son: funcionalidad, diseño y practicidad. Estas nuevas variedades de productos y su gran demanda en el mercado llevo a AGM a implementar altos estándares de eficiencia y con ello modernizar su proceso de producción, donde se invirtió en nuevas tecnologías y maquinarias con el propósito de expandir y automatizar gran parte de los procesos de producción de la empresa.

Con la llegada de las nuevas maquinarias y la necesidad de reducir los tiempos de fabricación es que se incorporan dos centros de mecanizado CNC con la finalidad de poder aportar a la producción ya sea en la fabricación de soportes para el proceso de soldadura ya sea manual o mediante robots, moldes de prensas para corte y doblado de material, moldes de inyección de plásticos, soporte para perforación de material mediante taladros de pedestal y cualquier modificación que se requiera a uno de estos.

Es en este punto del proceso productivo en donde se enfocará este trabajo de título y que buscará estudiar los parámetros de mecanizado de los centros de mecanizado CNC que se encuentran en la empresa para, finalmente, proponer una mejora en estos, ya sea en reducir tiempos de fabricación, aumentar calidades superficiales de los elementos de fabricación y disminuir el costo que lleva asociado esto.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

- Proponer mejora a los parámetros de mecanizado del centro de mecanizado CNC en la fabricación de componentes mecánicos de la empresa AGM para la reducción de los tiempos de fabricación

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir los procesos de fabricación de los componentes mecánicos elaborados en el centro de mecanizado CNC para la identificación de la problemática.
- Elaborar propuesta de nuevos parámetros de mecanizado de acuerdo con las especificaciones indicadas por fabricante de las herramientas de corte para evaluación de propuestas
- Evaluar las propuestas mediante relación costo y tiempo de fabricación escogiendo la más beneficiosa para la empresa.

**CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES**

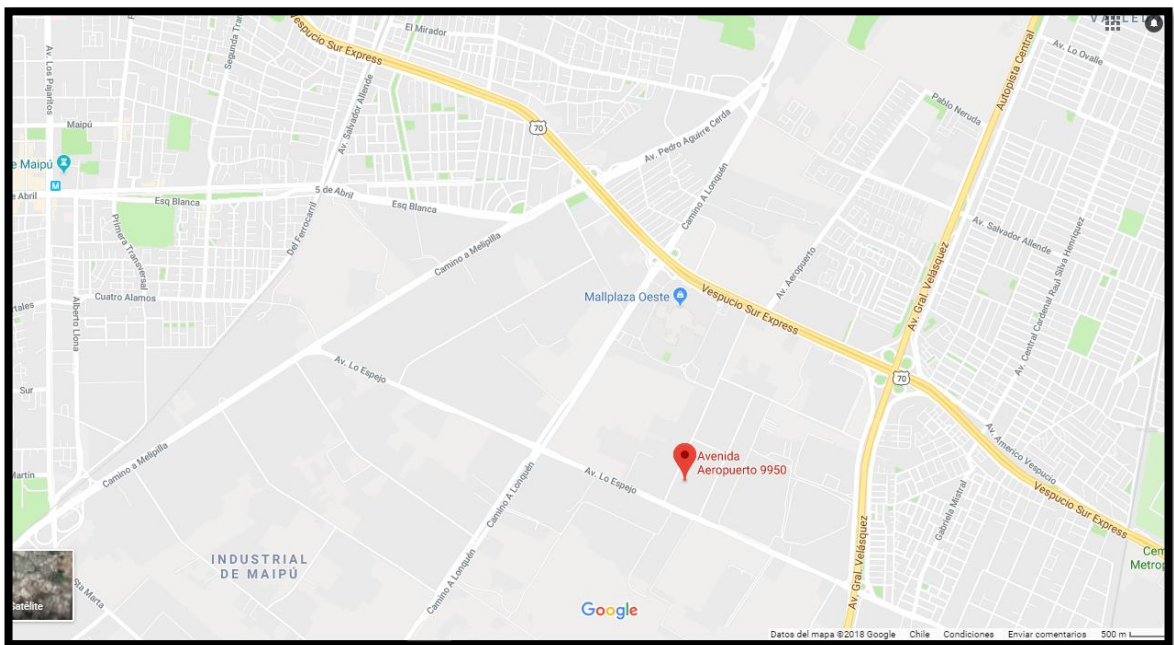
## 1, ANTECEDENTES GENERALES

### 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Artículos deportivos Gacitúa y compañía limitada nace hace más de veinte años con la fabricación de elementos deportivos que en su primera instancia solo se dedicaba a la fabricación de mesas de ping pong. Hoy en día AGM está posicionada en la industria de la fabricación de mesas de ping pong y otros diversos productos que han salido al mercado con el pasar del tiempo

#### 1.1.1 Ubicación de la empresa

La empresa AGM Ltda está ubicada en la dirección Aeropuerto 9950, en la comuna de Cerillos de la región Metropolitana. Este sector de la comuna se caracteriza por ser un barrio industrial.



Fuente: Google Street View

Figura 1-1 Localización de la empresa AGM

#### 1.1.2 Distribución de la empresa

La empresa AGM se divide en tres grandes plantas, planta 1, planta 2 y planta 3 como se ve en la figura 1-2, cada planta trabaja en de forma diferente, pero todas están relacionadas entre sí.

- Planta 1 es la encargada del armado, embalaje, almacenaje y despacho de todos los productos fabricados en la empresa, es aquí el punto final de la línea de producción de la empresa.
- Planta 2 está dedicada a la producción de elementos de fierro, aceros y derivados. Es aquí donde el material bruto se trabaja según la tarea que se necesita para cada producto. Esta planta además cuenta con un centro de pintura para dar terminación a los productos provenientes de esta planta.
- Planta 3 es la encargada de la fabricación de muebles y artículos que en su composición tenga madera como principal material, es aquí donde se fabrican los muebles de oficina, dormitorios y los demás productos que ofrece la empresa.



Fuente: Google StreetView

Figura 1-2 Distribución de la empresa AGM

Los productos fabricados por la empresa AGM son comercializados ya sea en el mercado nacional como internacional, sin embargo, la mayor producción está enfocada en el mercado nacional y comercializadas en las grandes empresas del retail del país. Dentro de productos que AGM fabrica se puede encontrar mesas de ping pong, Taca-Taca, parrillas a carbón, discos para asados, mesas plegables, multimesa, muebles de oficina, muebles home office, muebles de dormitorio (camarotes, cunas), escaleras multiuso, pisos escaleras y estantes de almacenamientos.



Fuente: [www.agm.cl](http://www.agm.cl)

Figura 1-3: Productos fabricados en la empresa AGM

Este trabajo se centrará en la planta 2, quien es la encargada de trabajar con los productos fabricados en aceros y es donde están ubicados los centros de mecanizado a estudiar. Es en esta planta donde se pueden identificar diferentes procesos de fabricación, desde el inicio donde llega el material en bruto, hasta su término cuando se entrega el trabajo ya pintado. Los procesos a los que son sometidos el material varían dependiendo del producto que se está fabricando, es posible que un producto pase por todos los diferentes procesos, como puede ser que solo sea necesario realizar algunos de ellos. Los procesos de fabricación que otorga la planta son los siguientes:

- Corte del material (corte laser, corte con sierras automáticas)
- Doblado del material (doblado con prensas hidráulicas, dobladoras de tubos)
- Perforado del material (taladros de pedestal)
- Soldadura (manual y automatizada)
- Proceso de armado
- Proceso de pintura

El área de fabricación y mantenimiento de la empresa es la encargada de intervenir en los diferentes procesos de acuerdo a la necesidad que requiera un producto. Son ellos los encargados de fabricar los soportes tanto como para el proceso de soldadura manual o automatizada, proceso de doblado con la fabricación de matrices de doblado para prensas hidráulicas, fabricación de soportes para proceso de perforación, también para la modificación de alguno de ellos si se estima necesario. Todo esto se realiza con la ayuda de dos centros de mecanizado CNC que posee la empresa los cuales serán descritos en el desarrollo del capítulo.



Fuente: Empresa AGM Julio 2018

Figura 1-4 Soporte para proceso de perforado



Fuente: Empresa AGM Julio 2018

Figura 1-5 Soporte de doblado para arco de Taca-Taca

## 1.2 CENTROS DE MECANIZADO

La empresa AGM cuenta con dos centros de mecanizado CNC dentro de sus inmediaciones, ambos centros trabajan bajo de codificación FANUC, estos centros están destinados a la fabricación de moldes de inyección de plásticos, matrices de doblado, soporte y sujeción para proceso de soldadura, modificación de piezas y fabricación de piezas para maquinarias. Estos centros de mecanizado serán descritos según sus características técnicas.

### 1.2.1 Leadwell MCV – OP

Este centro de mecanizado es el más pequeño de los centros de mecanizado entregado en la empresa. Este es ocupado para la fabricación de piezas de menor envergadura

Tabla 1-1 Especificaciones Leadwell MCV - OP

Área de Trabajo	355,6 x 647,7 [mm]
Capacidad máxima de carga	245 [kg]
Velocidad máxima del husillo	6000 [rpm]
Recorrido eje x	508 [mm]
Recorrido eje y	355,6 [mm]
Recorrido eje z	406,4 [mm]
Diámetro max. herramienta	76,2 [mm]
Largo max. Herramienta	200,66 [mm]
Espacios de herramientas	16
Dimensiones	2058,4 x 2794 x 2235,2 [mm]
Peso Maquina	2993,71 [kg]
Potencia Motor	5592.749 [Watts]

Fuente: <https://www.exapro.es/centro-de-mecanizado-vertical-ledwell-mcv-op-p70613076/>



Fuente: Empresa AGM Julio 2018

Figura 1-6 Centro mecanizado MCV-OP operando en la empresa AGM

### 1.2.2 Leadwell MCV – 760XL

Este centro es de mayor tamaño, es utilizado para la fabricación de piezas de gran tamaño, principalmente los moldes de inyección de plásticos, que son de grandes dimensiones.

Tabla 1-2 Especificaciones Leadwell MCV – 760XL

Área de Trabajo	1099,82 x 640,08 [mm]
Capacidad máxima de carga	430,912 [kg]
Velocidad max de husillo	4000 [rpm]
Recorrido eje x	762 [mm]
Recorrido eje y	508 [mm]
Recorrido eje z	508 [mm]
Potencia motor	7457 [Watts]
Espacios herramientas	20
Dimensiones	2184,4x2667x 2590,8 [mm]
Peso maquina	4082,331 [kg]

Fuente: creación propia



Fuente: Empresa AGM Julio 2018

Figura 1-7 Centro mecanizado MCV- 760XI

### 1.3 HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL CENTRO DE MECANIZADO

#### 1.3.1 Insertos de metal duro

Comúnmente llamado plaquitas intercambiables de corte, son herramientas de corte compuestas por partículas duras generalmente carburos, estas son unidas a través de un aglomerante en geometrías específicas que conservan los principales ángulos de una herramienta de corte convencional que les permite producir el arranque de viruta. Por los materiales empleados

en la creación de estos insertos, los parámetros de mecanizados y calidades son muy superiores en comparación a una herramienta de acero rápido.

### Kyocera BDMT11T304ER-JT

Estos insertos son los empleados en el porta-herramientas para operaciones de planeado. En la parte posterior de la pequeña caja que los guarda, existe información útil al momento de utilizarlas para mecanizar.



Fuente: Empresa AGM Julio 2018

Figura 1-8 Pegatina Insertos de metal duro Kyocera

En la parte superior se puede encontrar el nombre designado para los insertos el cual es BDMT11T304ER-JT. Luego están escrito TKB00360 y PR1225 que solamente observando la información que presente en la pegatina no se puede saber su significado.

Lo siguiente es una nomenclatura más universal, dentro de todas las letras encerradas en colores, están marcadas la letra P y la M. El color azul en conjunto con la letra P significa que los insertos pueden mecanizar aceros al carbono. La letra M junto con el color amarillo significa que se pueden mecanizar aceros inoxidables.

Finalmente están las Vc (Velocidad de corte) y los f (Avance por filo) recomendados, pero estos solo aplican al mecanizar aceros al carbono. A continuación, se encuentra una tabla que presenta los valores recomendados de avance y velocidad de corte para este inserto versus ciertos tipos de materiales. Estos valores son los entregados por el fabricante:

Tabla 1-3 Parámetros de mecanizado Inserto Kyocera

	Avance	Velocidad de corte
Material	Rompeviruta JT [mm/f]	Grado inserto PR1225[m/min]
Acero al Carbono	0.05 – 0.010 – 0.12	119 – 180 – 250
Acero Aleado	0.05 – 0.07 – 0.10	101 – 159 – 220
Acero para moldes	0.05 – 0.07 – 0.10	80 – 140 – 180
Acero Austenítico	0.05 – 0.06 - 0.07	119 – 180 – 250

Fuente: Catalogo Insertos para Fresar Kyocera

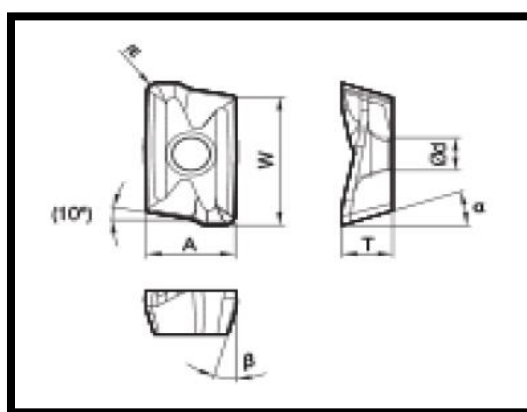
La designación JT hace alusión a la forma geométrica específica que presenta el rompe virutas en los insertos y el numero PR1225 hace referencia al grado o calidad del inserto.

A continuación, se encuentra una pequeña tabla que indica las dimensiones del inserto otorgado por el fabricante, así como el valor de sus ángulos principales.

Tabla 1-4 Dimensiones Inserto Kyocera

Dimensiones [mm]					Angulo °	
A	T	D	W	re	a	$\beta$
6,7	3,81	2,8	11	0,4	18	13

Fuente: Catalogo Insertos para Fresar Kyocera



Fuente: Catalogo Insertos para Fresar Kyocera

Figura 1-9 Dimensiones inserto Kyocera

## 1.4 MATERIALES UTILIZADOS

La empresa AGM trabaja con una amplia variedad de materiales, entre ellos está la madera y aceros con distintas aplicaciones, a continuación, se detallarán solamente los materiales con los cuales trabajan los 2 centros de mecanizados

### 1.4.1 Acero Bohler k100

Es un acero comúnmente utilizado en herramientas de corte que destaca por su templabilidad y resistencia al desgaste, pero su tenacidad es baja, así como su resistencia a la compresión por lo que su resistencia a impactos no es buena. Convirtiéndolo además en un material quebradizo gracias a las cantidades de carbono que presenta.

Tabla 1-5 Composición Química k100 [%]

Carbono	Silicio	Manganeso	Cromo
2,00	0,25	0,35	11,50

Fuente: PDF Bohler K100

Algunas aplicaciones de este acero son para herramientas de troquelados, estampación, matrices de laminación. Empleados también en fabricación de elementos que tengan un alto desgaste, así como componentes para la industria de reciclaje.

Este acero es el equivalente a un acero de la norma DIN 1.2080

### 1.4.2 Acero Bohler M238

Este es un acero empleado para moldes de plástico que destaca por su gran tenacidad, maquinabilidad y su gran aptitud para el fotograbado este último otorgado gracias al porcentaje de níquel en el acero. Además, este acero es compatible con cualquier tipo de tratamiento de nitruración, galvanización de superficie y recubrimiento con PVD.

Tabla 1-6 Composición Química m238 [%]

Carbono	Silicio	Manganeso	Cromo	Molibdeno	Níquel
0,38	0,30	1,50	2,00	0,20	1,10

Fuente: PDF Bohler M238

Algunas aplicaciones más comunes de este acero son para moldes de gran tamaño, armazones de moldes para industrias de plástico, piezas en la construcción de maquinaria.

Este acero en otra norma es el equivalente a un DIN 1.2783

### 1.4.3 Acero SAE 1045

Es uno de los aceros más empleados en la industria metalmeccánica, ofrece resistencia mecánica y tenacidad en un nivel medio y destaca en su gran capacidad para ser soldado. Tiene la capacidad de ser sometido a tratamientos térmicos.

Tabla 1-7 Composición química SAE 1045[%]

Carbono	Silicio	Manganeso	Fosforo	Azufre
0,43-0,50	0,2-0,4	0,6-0,9	0,04	0,05

Fuente: <https://repository.unilibre.edu.co>

Algunas aplicaciones más comunes para este acero es ser utilizado en la industria automotriz, elementos de maquinaria como ejes, pernos, cigüeñales, engranajes de baja velocidad, y herramientas manuales como martillos, hachas, llaves.

### 1.5 CONDICIONES DE TRABAJO ACTUALES

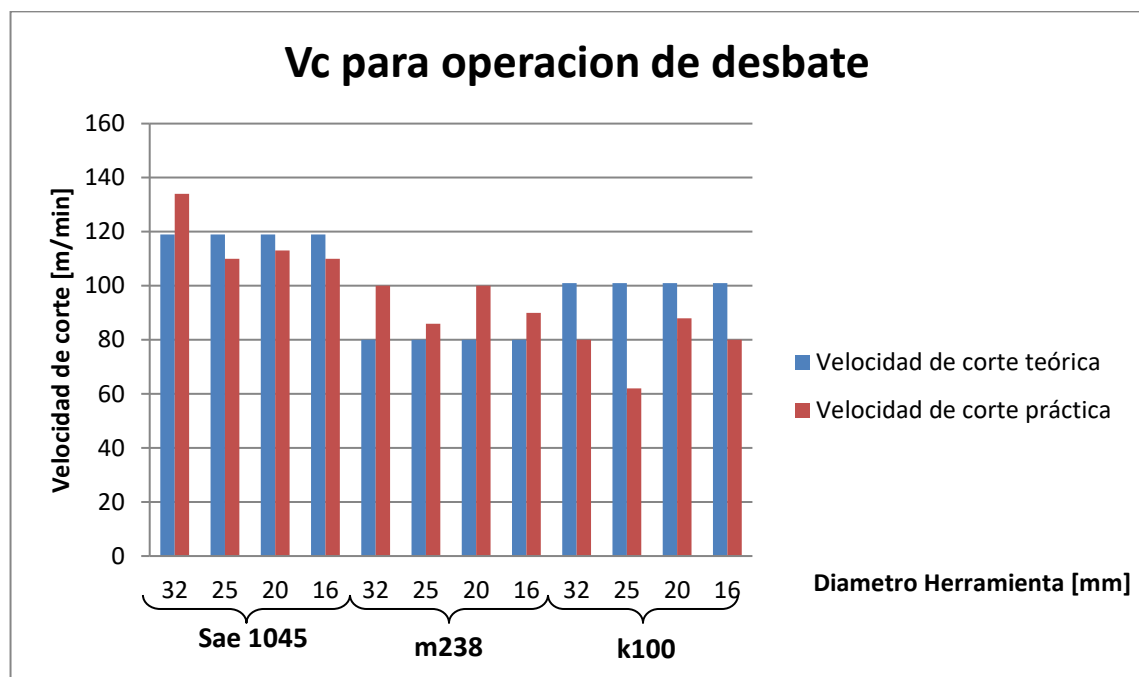
Los centros de mecanizado CNC de la empresa fueron adquiridos hace aproximadamente tres años, estas máquinas estuvieron sin uso durante dos años aproximadamente ya que no se contaba con personal capacitado para operar dichos centros. En la actualidad estas máquinas son operadas por don Waldo Muñoz, técnico en matricería de la universidad técnica Federico Santa María, encargado del área de mantención y fabricación de la empresa. Fue él quien empezó a hacer uso de estas máquinas, sin embargo, carece de conocimientos, las herramientas y los parámetros a considerar para un uso óptimo de ellas. A continuación, se muestra una tabla con los valores prácticos empleados actualmente en la empresa y los teóricos según fabricante al momento de mecanizar ciertos materiales.

Tabla 1-8 Parámetros teóricos y prácticos para operación de desbaste

Operación: Desbaste							
Material	Herramienta	Diámetro (mm)	Avance (mm/min)	Profundidad (mm)	Velocidad de corte teórica (m/min)	Velocidad de corte práctica (m/min)	%
SAE 1045	Kyocera BDMT11T304ER-JT	32	600	0,2 - 1	119	134	113
		25	600	0,2 - 1	119	110	92
		20	600	0,2 - 1	119	113	95
		16	650	0,2 - 1	119	110	92
m238		32	500	0,2-0,4	80	100	125
		25	500	0,2-0,5	80	86	108
		20	450	0,2-0,6	80	100	125

		16	500	0,2-0,7	80	90	113
k100		32	300	0,1-0,2	101	80	79
		25	300	0,1-0,3	101	62	61
		20	300	0,1-0,4	101	88	87
		16	300	0,1-0,5	101	80	79

Fuente: Creación propia utilizando parámetros recomendados de fabricante y los empleados en la empresa.



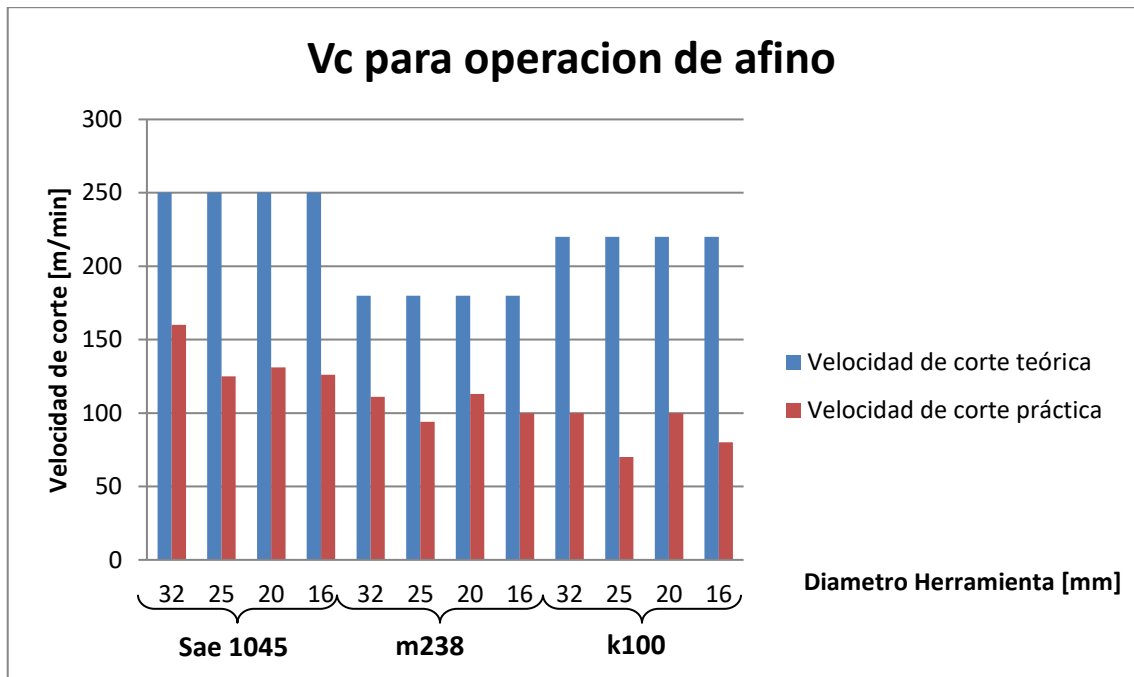
Fuente Creación Propia utilizando parámetros recomendados de fabricante y los empleados en la empresa.

Grafico 1-1: Velocidad de corte en operación de desbaste

Tabla 1-9 Parámetros teóricos y prácticos para operación de afino

Operación: Afino							
Material	Herramienta	Diámetro (mm)	Avance (mm/min)	Profundidad (mm)	Velocidad de corte Teórica (m/min)	Velocidad de corte práctica (m/min)	%
SAE 1045	Kyocera BDMT11T304ER- JT	32	600	0,2 - 1	250	160	64
		25	600	0,2 - 1	250	125	50
		20	600	0,2 - 1	250	131	52
		16	650	0,2 - 1	250	126	50
m238		32	500	0,2-0,4	180	111	62
		25	500	0,2-0,5	180	94	52
		20	450	0,2-0,6	180	113	63
		16	500	0,2-0,7	180	100	56
k100		32	300	0,1-0,2	220	100	45
		25	300	0,1-0,3	220	70	32
		20	300	0,1-0,4	220	100	45
		16	300	0,1-0,5	220	80	36

Fuente Creación Propia utilizando parámetros recomendados de fabricante y los empleados en la empresa.



Fuente: Creación propia utilizando parámetros recomendados de fabricante y los empleados en la empresa.

Grafico 1-1: Velocidad de corte en operación de afino

Como se puede observar en las tablas en el extremo derecho se indica el porcentaje de rendimiento en la velocidad de corte practica con respecto a la teórica otorgada por el fabricante, en la cual se pueden ver valores muy bajos de hasta un 32% en el caso de operaciones de afino para el acero Bohler k100.

Es por ello que este trabajo de título busca proponer una mejora en sus parámetros de mecanizado para así obtener mejores resultados en la fabricación ya sea en el tiempo de mecanizado y/o reducción de costos. El propósito de esto es entregar información clara y precisa al operario de los parámetros que debe utilizar de acuerdo con las condiciones de trabajo que posee la empresa.

**CAPÍTULO 2: CÁLCULO DE TIEMPOS DE MECANIZADO**



## CAPÍTULO 2: CÁLCULO DE TIEMPOS DE MECANIZADO

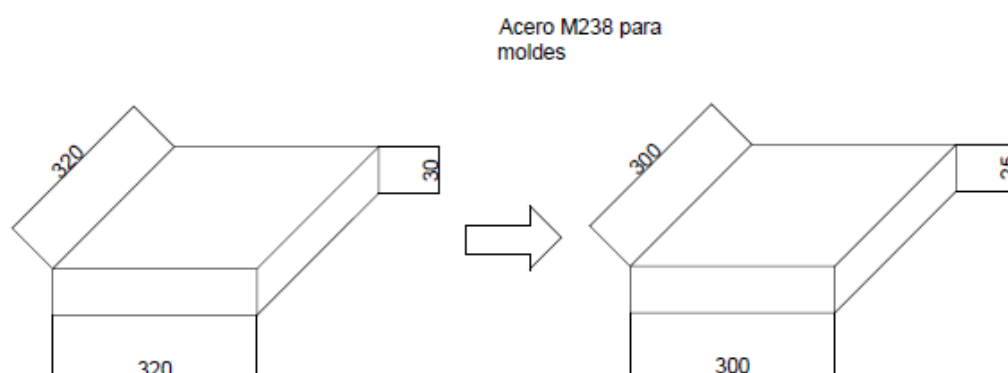
En el capítulo anterior se pudo apreciar los parámetros de mecanizado utilizados por la empresa y los disponibles según fabricante para las placas de corte que se utilizan. Teniendo esto en cuenta, es posible realizar mejoras de los parámetros, ya sea utilizando de manera correcta los que ofrece la placa de corte utilizada (descritos en el capítulo anterior) o bien, proponer placas de corte similares que ofrezcan mejores parámetros de mecanizado.

Es en este capítulo donde se propone otra placa de corte que cumple las mismas operaciones de trabajo, pero que se comporta de mejor manera.

Como describió anteriormente la placa utilizada en la actualidad es de origen japonés y de la marca KYOCERA, su designación de la placa es BDMTT304ER-JT, son estos conjuntos de letras y números los que entregan características principales de estas placas de corte, si bien, hay una norma que estipula un orden en su escritura como lo es la norma ISO 1832-1991, hay fabricantes que le otorgan su propia designación a estas herramientas de corte.

Para poder establecer una comparación entre los parámetros de mecanizado a estudiar se hace un supuesto de fabricación relacionado con la empresa en donde se realizarán los cálculos correspondientes a una operación común que se realiza en AGM que es la preparación de un bloque de acero Bohler M238 para su post-mecanización a molde de inyección. Estos serán empleando los parámetros actuales de la empresa que están estipulados en el capítulo anterior

La actividad consiste en reducir el tamaño de un bloque en bruto de acero BOHLER M238 de dimensiones 320 x 320 x 30 [mm] aproximadamente a uno de dimensiones 300 x 300 x 25 [mm], Con esto se puede establecer los tiempos principales de mecanizado, para la misma operación, pero con parámetros y placas de corte distintas. Los parámetros que considerará dentro de los cálculos serán los siguientes



Fuente: creación propia

Figura 2-1 Dimensiones placa de acero Bohler M238

Las condiciones de trabajo para este estudio de los parámetros serán los siguientes

Tabla 2-1 Condiciones de trabajo

Material	Acero Bohler M238
Operación	Planeado
Máquina utilizada	Leadwell MCV – 760XL
Potencia maquina	7.4 Kw
Diámetro Fresa	32 mm
Cantidad de insertos	4

Fuente: Creación propia

## 2.1 PARÁMETROS A CONSIDERAR

### 2.1.1 Velocidad de corte

Se entiende por velocidad de corte al recorrido lineal del filo de la herramienta en cierta cantidad de tiempo (m/min). El valor de las velocidades de corte comúnmente viene estipulado en tablas o bien dadas por el fabricante de las herramientas de corte en donde se considera el tipo de material a mecanizar. Este parámetro es utilizado en el cálculo de RPM (revoluciones por minuto) que debe girar el husillo y que viene dado por la siguiente formula.

$$n = \frac{vc * 1000}{\pi * Dc}$$

En donde:

n = número de revoluciones (rpm)

Vc = velocidad de corte (m/min)

Dc = Diámetro de la fresa (mm)

El factor 1000 solo se utiliza para la conversión de unidades de metros a milímetros

### 2.1.2 Velocidad de avance

Este parámetro hace referencia a la velocidad en la cual la herramienta se desplaza respecto a la pieza en distancia recorrida por cantidad de tiempo (mm/min). Esta se calcula en función del avance por diente (valor dado por fabricante) y la cantidad de dientes de la fresa.

$$Vf = fz * Zn * n$$

En donde:

Vf = Velocidad de avance (mm/min)

Fz = Avance por diente (mm/diente)

Zn = Cantidad de dientes de la freza

n = Velocidad del Husillo (rpm)

### 2.1.3 Profundidad

Para calcular la profundidad de corte existen distintos métodos para poder realizarlo, si bien hay métodos universales capaces de hacer este cálculo como lo es el método de Kienzle o el método de Kronenbein, los fabricantes de herramientas de corte estipulan su propio cálculo.

Para las herramientas de corte Kyocera que se utilizan en la empresa el método para calcular la profundidad de corte está bajo su propio método de cálculo, es cual se describe a continuación

$$P_c = \frac{K_s * a_e * F_z * Z * N * a_p}{6120000 * \eta}$$

Donde:

$P_c$  = Potencia requerida

$K_s$  = Fuerza específica de corte (Valor obtenido de tabla)

$a_e$  = Ancho de corte

$F_z$  = Avance por diente

$Z$  = Cantidad de dientes

$N$  = RPM

$a_p$  = Profundidad de corte

$\eta$  = Eficiencia mecánica (0,7-0,8)

Para el fabricante Sandvik Coromant tiene una fórmula exclusiva la cual se puede utilizar para calcular la potencia necesaria. La fórmula es la siguiente

$$P_c = \frac{a_e * a_p * v_f * k_{c1}}{60 * 10^6}$$

$P_c$  = Consumo potencia [kW]

$a_e$  = Empaño [mm]

$a_p$  = Profundidad de corte [mm]

$v_f$  = Avance de mesa [mm/min]

$k_{c1}$  = Fuerza específica de corte [N/mm<sup>2</sup>] (valor obtenido de tabla)

### 2.1.4 Tiempo de mecanizado

Para poder estimar los tiempos de mecanizado para el bloque de acero es necesario tener en cuenta la siguiente formula.

$$Tp = \frac{L + \phi}{Vf}$$

Donde:

$Tp$  = Tiempo principal por pasada

$L$  = Largo de la pieza

$\phi$  = Diámetro de la herramienta

$Vf$  = Velocidad de avance

Cabe destacar que el tiempo principal por pasada solo considera el tiempo en trabajo de la herramienta. El tiempo total de mecanizado resulta ser la sumatoria a todos los tiempos principales obtenidos.

## 2.2 PREPARACIÓN ACERO BOHLER M238 CON PARÁMETROS UTILIZADOS POR LA EMPRESA

Para este cálculo se utilizarán los parámetros de mecanizado obtenidos en la empresa y que están descritos en el capítulo anterior en la Tabla 1-8 Parámetros teórico y práctico para operación de desbaste. Para este cálculo en particular solo se consideran pasadas de desbaste ya que, en la empresa, las pasadas de afino son omitidas.

Tabla 2-2 Parámetros utilizados en la empresa AGM

Velocidad de corte	111 [m/min]
Velocidad de avance	500 [mm/min]
Profundidad de corte	0.4 [mm]
Diámetro herramienta	32 [mm]

Fuente: Creación propia

### 2.2.1 Cálculo de tiempo de mecanizado

En una primera instancia se eliminan 10 [mm] de uno de sus extremos de la pieza. El tiempo que demora esta operación será descrita a continuación. La cantidad a arrancar será de 30 [mm] ya que es el ancho del material en bruto.

$$\text{Cantidad de pasadas} = \frac{\text{Material a arrancar}}{\text{Profundidad de corte}} = \frac{30 \text{ (mm)}}{0.4 \text{ (mm)}} = 75 \text{ pasadas}$$

$$Tp = \frac{320 \text{ (mm)} + 32 \text{ (mm)}}{500 \text{ (mm/min)}} = 0,70 \text{ (min)}$$

$$T_p \text{ mecanizado} = 0.70 \text{ (min)} * 75 \text{ (pasadas)} = 52.5 \text{ [min]}$$

La siguiente operación es realizar el mismo corte de 10 [mm] de forma perpendicular al corte ya realizado, para así, obtener la perpendicularidad en todas sus caras. El tiempo de operación y su cantidad de pasadas será descrito a continuación.

$$\text{Cantidad de pasadas} = \frac{\text{Material a arrancar}}{\text{Profundidad de corte}} = \frac{30 \text{ (mm)}}{0.4 \text{ (mm)}} = 75 \text{ pasadas}$$

$$T_p = \frac{310 \text{ (mm)} + 32 \text{ (mm)}}{500 \text{ (mm/min)}} = 0,68 \text{ (min)}$$

$$T_p \text{ mecanizado} = 0.68 \text{ (min)} * 75 \text{ (pasadas)} = 51 \text{ min}$$

Las siguientes operaciones serán realizar el mismo corte en los dos extremos faltantes. El tiempo de mecanizado será descrito a continuación

$$T_p = \frac{310 \text{ (mm)} + 32 \text{ (mm)}}{500 \text{ (mm/min)}} = 0,68 \text{ (min)}$$

$$T_p \text{ mecanizado} = 0.68 \text{ (min)} * 75 \text{ (pasadas)} = 51 \text{ min}$$

$$T_p = \frac{300 \text{ (mm)} + 32 \text{ (mm)}}{500 \text{ (mm/min)}} = 0,66 \text{ (min)}$$

$$T_p \text{ mecanizado} = 0.66 \text{ (min)} * 75 \text{ (pasadas)} = 49.5 \text{ min}$$

Finalmente, ya con la placa en dimensiones de 300 [mm] \* 300 [mm] se procede reducir su espesor, para ello es necesario eliminar 5 [mm] repartido en sus dos superficies más grandes. Cabe destacar que por recomendación solo se utiliza 2/3 del diámetro de la herramienta, esto se realiza para reducir la vibración producida, para este caso se emplea un diámetro de herramienta de 32 [mm] como se estipula en la Tabla 2-2. Teniendo esto en consideración, la cantidad de pasadas para abarcar toda la superficie de la placa será:

$$N^{\circ} \text{ de pasadas} = \frac{\text{Material a arrancar}}{\frac{2}{3} \text{ Diametro herramienta}} = \frac{300 \text{ (mm)}}{21 \text{ (mm)}} = 14.28 \approx 15 \text{ pasadas}$$

Para eliminar los 5 [mm] necesarios, con una profundidad de 0.4 mm es necesario realizar el cálculo de pasadas para reducir el espesor.

$$\text{Cantidad de pasadas} = \frac{\text{material a arrancar}}{\text{Profundidad de corte}} = \frac{5 \text{ (mm)}}{0.4 \text{ (mm)}} = 12,5 \approx 13 \text{ pasadas}$$

Para cumplir con los 5 [mm] de corte serán necesario 12 pasadas con 0.4 [mm] de profundidad y una pasada con 0.2 [mm] de profundidad.

El tiempo que demora esta operación será descrito a continuación

$$T_p = \frac{300(\text{mm}) + 32(\text{mm})}{500(\text{mm}/\text{min})} = 0,66 (\text{min})$$

$$T_p \text{ mecanizado} = 0.66 (\text{min}) * 195 (\text{pasadas}) = 128.7 \text{min}$$

Teniendo todos los tiempos ya estimados, el resultado final será la sumatoria de todos estos

$$T_{\text{total mecanizado}} = \Sigma \text{ tiempo mecanizado}$$

$$T_{\text{total mecanizado}} = 52,5 + 51 + 51 + 49,5 + 128,7 = 332,7 \text{ min} = 5,545 \text{ horas}$$

## 2.3 PREPARACIÓN ACERO BOHLER M238 CON PARÁMETROS CORRESPONDIENTES A LA PLACA KYOCERA

### 2.3.1 Cálculo de profundidad

Para realizar este cálculo de tiempo de mecanizado se hace necesario poder calcular la profundidad de corte que se puede utilizar según la capacidad de la máquina como la capacidad de la placa de corte. Cabe destacar que este valor, por recomendación, debe estar por sobre el valor del radio de la punta o bien utilizando 2/3 del largo del filo de la herramienta. El cálculo de la profundidad de corte se puede despejar de la ecuación de potencia requerida propuesta por Kyocera descrita anteriormente. El valor Ks debe ser encontrado en una tabla que es proporcionada por Kyocera y debe ser convertido de kilogramo fuerza a Newton para despejar la profundidad. Según las características del acero BOHLER M238 descritas en el capítulo 1 se puede determinar que en la tabla de fuerza específica de corte corresponde a un acero de baja aleación (Low Alloy Steel por su traducción al inglés). El resultado de profundidad es el siguiente:

Ks Figure	
Low Carbon Steel	190
Medium Carbon Steel	210
High Carbon Steel	240
Low Alloy Steel	190
High Alloy Steel	245
Cast Iron	93
Malleable Cast Iron	120
Bronze, Brass	70

Fuente: catálogo general Kyocera

Figura 2 –2: Fuerza específica de corte en ( $\text{kgf}/\text{mm}^2$ )

$$a_p = \frac{6120000 * 0,8 * 7,4(Kw)}{1863 \left(\frac{N}{mm^2}\right) * 0,1 \left(\frac{mm}{diente}\right) * 21(mm) * 4 * 795,8(RPM)} = 2,9 \text{ mm}$$

Cabe destacar que no se recomienda utilizar el total de este valor, así que por temas prácticos se aproximara el valor a 2,5 [mm].

### 2.3.2 Cálculo de velocidad de avance

Para este cálculo se utilizarán los parámetros de mecanizado obtenidos en la empresa y que están descritos en el capítulo anterior en la Tabla 1-3 Parámetros de mecanizado Inserto Kyocera.

Tabla 2-3: Valores a utilizar para cálculos de avance

	Avance por diente [mm]	Velocidad de corte [m/min]
Material	Rompeviruta JT	Grado inserto PR1225
Acero para moldes	0.05 – 0.07 – 0.10	80 – 140 – 180

Fuente: creación propia

$$n = \frac{80 * 1000}{\pi * 32} = 795,8 \text{ rpm}$$

$$V_f = 0,1 (mm) * 4 * 795,8(rpm) = 318,3 \text{ mm/min}$$

### 2.3.3 Cálculo de tiempos de mecanizado

Teniendo todos los valores ya definidos se puede realizar los cálculos de tiempo de mecanizado.

En una primera instancia se eliminan 10 [mm] de uno de sus extremos de la pieza que tiene un ancho de 30 [mm]. El tiempo que demora esta operación será descrita a continuación.

$$\text{Cantidad de pasadas} = \frac{\text{material a arrancar}}{\text{Profundidad de corte}} = \frac{30 (mm)}{2,5 (mm)} = 12 \text{ pasadas}$$

$$T_p = \frac{320(mm) + 32(mm)}{318,3(mm/min)} = 1,11 \text{ (min)}$$

$$T_p \text{ mecanizado} = 1,11 \text{ (min)} * 12 \text{ (pasadas)} = 13,11 \text{ min}$$

La siguiente operación es realizar el mismo corte de 10 [mm] de forma perpendicular al corte ya realizado, para así, obtener la perpendicularidad en todas sus caras. El tiempo de operación y su cantidad de pasadas será descrito a continuación.

$$\text{Cantidad de pasadas} = \frac{\text{material a arrancar}}{\text{Profundidad de corte}} = \frac{30 \text{ (mm)}}{2,5 \text{ (mm)}} = 12 \text{ pasadas}$$

$$Tp = \frac{310 \text{ (mm)} + 32 \text{ (mm)}}{318,3 \text{ (mm/min)}} = 1,07 \text{ (min)}$$

$$Tp \text{ mecanizado} = 1,07 \text{ (min)} * 12 \text{ (pasadas)} = 12,84 \text{ min}$$

Las siguientes operaciones será realizar el mismo corte en los dos extremos faltantes. El tiempo de mecanizado será descrito a continuación

$$Tp = \frac{310 \text{ (mm)} + 32 \text{ (mm)}}{318,3 \text{ (mm/min)}} = 1,07 \text{ (min)}$$

$$Tp \text{ mecanizado} = 1,07 \text{ (min)} * 12 \text{ (pasadas)} = 12,84 \text{ min}$$

$$Tp = \frac{300 \text{ (mm)} + 32 \text{ (mm)}}{318,3 \text{ (mm/min)}} = 10,4 \text{ (min)}$$

$$Tp \text{ mecanizado} = 1,04 \text{ (min)} * 12 \text{ (pasadas)} = 12,48 \text{ min}$$

Finalmente, ya con la placa en dimensiones de 300 [mm] \* 300 [mm] se procede reducir su espesor, para ello es necesario eliminar 5 [mm] repartido en sus dos superficies más grandes. Cabe destacar que por recomendación solo se utiliza 2/3 del diámetro de la herramienta, esto se realiza para reducir la vibración producida. Teniendo esto en consideración, la cantidad de pasadas para abarcar toda la superficie de la placa será:

$$N^{\circ} \text{ de pasadas} = \frac{\text{material a arrancar}}{\frac{2}{3} \text{ Diametro herramienta}} = \frac{300 \text{ (mm)}}{21 \text{ (mm)}} = 14,28 \approx 15 \text{ pasadas}$$

Para eliminar los 5 mm necesarios, con una profundidad de 2,5 mm es necesario realizar el cálculo de pasadas para reducir el espesor

$$\text{Cantidad de pasadas} = \frac{\text{material a arrancar}}{\text{Profundidad de corte}} = \frac{5 \text{ (mm)}}{2,5 \text{ (mm)}} = 2 \text{ pasadas}$$

El tiempo que demora esta operación será descrito a continuación

$$Tp = \frac{300 \text{ (mm)} + 32 \text{ (mm)}}{318,3 \text{ (mm/min)}} = 1,04 \text{ (min)}$$

$$Tp \text{ mecanizado} = 1,04 \text{ (min)} * 30 \text{ (pasadas)} = 31,2 \text{ min}$$

Teniendo todos los tiempos ya estimados, el resultado final será la sumatoria de todos estos

$$T_{\text{total mecanizado}} = \Sigma \text{ tiempo mecanizado}$$

$$T_{total\ mecanizado} = 13,11 + 12,84 + 12,84 + 12,48 + 31,2 = 82,47\ min$$

$$= 1,374\ horas$$

## 2.4 PROPUESTA DE PARÁMETROS DE MECANIZADO CON HERRAMIENTAS SANDVIK COROMANT

Una de las propuestas es también emplear un inserto de una marca diferente, para este caso se escoge Sandvik Coromant al ser una marca bastante conocida en el área metal mecánica.

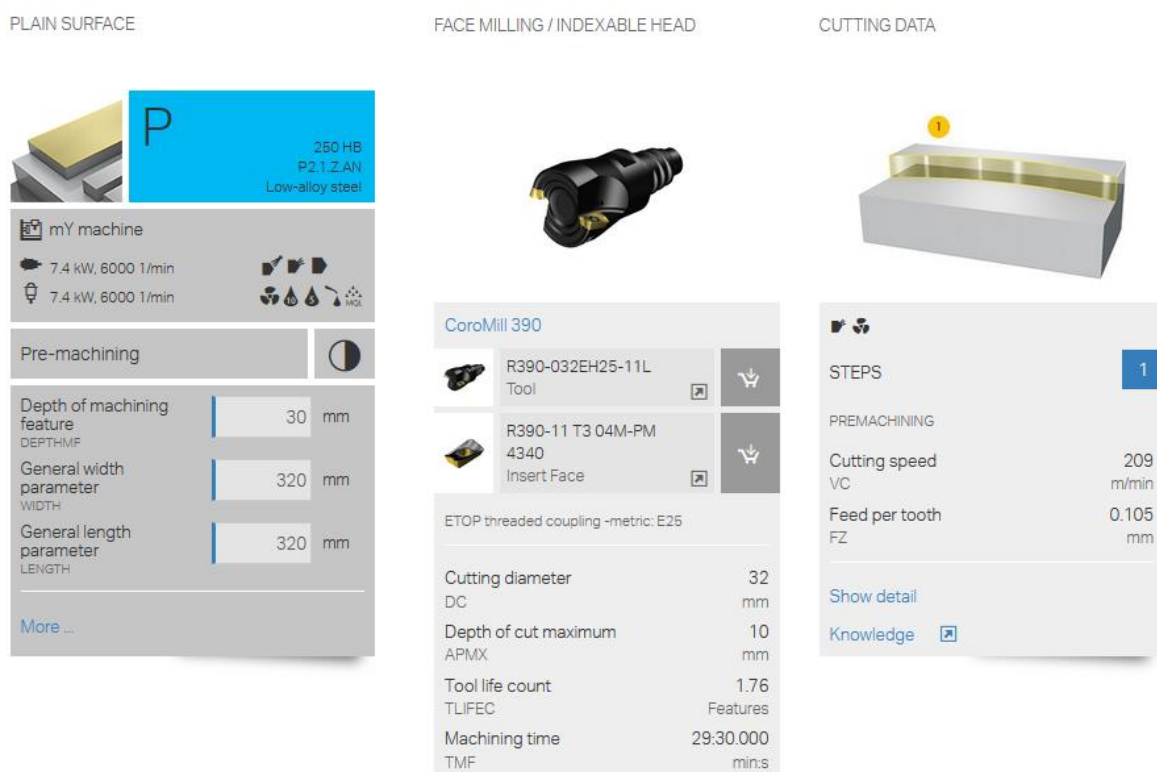
Para escoger el inserto adecuado la página web de Sandvik Coromant ofrece un asistente online llamado Tool Guide (Guía de herramientas) que luego de establecer parámetros como tarea a realizar, material a trabajar y maquina empleada, permite una búsqueda rápida dentro de los catálogos de la empresa Sandvik con lo cual el asistente recomendará un inserto de corte y un porta-herramientas adecuados a las condiciones especificadas, también en un apartado ofrece una lista con todos los insertos aplicables a las condiciones estipuladas para una búsqueda manual.

El primer paso es identificar si el giro está presente en el material o no, para este caso el material es un bloque por lo que es de carácter no rotativo, posteriormente seleccionar el tipo de forma que se le quiere otorgar al material entre las cuales se encuentran ranuras, roscas, cavidades entre otras, ente caso será de superficie plana y escuadra, finalmente seleccionar si es una superficie plana, una forma de escuadra o una superficie plana con cortes intermitentes, como solo es un desbaste para reducir las dimensiones del bloque será solamente de superficie plana.

El segundo paso es identificar el tipo de material a trabajar, en este caso es un acero BOHLER M238 que es un acero de baja aleación para moldes por lo que su clasificación es de tipo P según la norma ISO, además se puede modificar la dureza del material entre un rango de 120 – 250 HB, el acero M238 suele presentar una dureza entre 290–330 HB por lo que el valor de dureza será sometido en su máximo valor posible 250 HB.

El tercer paso es seleccionar la maquina empleada, los ejemplos de máquina que ofrece el Tool Guide son solamente 4, estos poseen potencias de motor de 200, 30, 28 y 18 [kW], pero la maquina empleada en la empresa solo posee una potencia de 7,4 [kW], sin embargo, al registrarse como usuario de la página Sandvik esta permite insertar los datos de la maquina en cuestión.

El último paso es identificar las dimensiones del material a mecanizar, así como la estabilidad de la fijación del mismo, en la estabilidad se usará un valor medio que es la condición de buena estabilidad, finalmente las dimensiones del bloque que son 320 x 320 x 30 [mm] y que el diámetro del corte será de 32 [mm].



Fuente: [www.Sandvik.coromant.com](http://www.Sandvik.coromant.com)

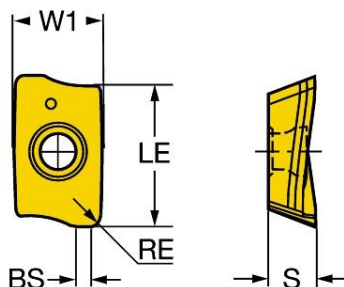
Figura 2-3 Asistente para selección de herramientas Guide Tool

Tras presionar en el botón obtener resultados, el asistente web recomienda un inserto de nombre R390-11 T3 04M-PM 4340 y un portaherramientas para dicho inserto de nombre R390-032EH25-11L. Por lo que al ser una recomendación directa de Sandvik Coromant para las condiciones entregadas se tomara como el inserto más adecuado.

#### 2.4.1 Inserto Sandvik Coromant R390-11 T3 04M-PM 4340

Este inserto es capaz de trabajar 3 tipos de materiales que están bajo la norma ISO, los tipos P para aceros, los tipos M para aceros inoxidable y los tipos K para fundiciones. Además, este inserto es para operación de tipo medio y su calidad de inserto es el 4340.

Las siguientes características del inserto son las entregadas por la página Sandvik Coromant



Fuente [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com)

Figura 2-4 Representación genérica de Inserto Sandvik

Tabla 2-4 Dimensiones de Inserto Sandvik Coromant R390-11 T3 04M-PM 4340

Longitud de filo wiper (BS)	0.9 [mm]
Angulo del filo principal	90 °
Recubrimiento	Constant Constant
Anchura plaquita (W1)	6,8 [mm]
Longitud Efectiva de filo (LE)	10 [mm]
Radio de la punta (RE)	0,4 [mm]
Grosor de la plaquita (S)	3,59 [mm]
Mano	R
Sustrato	HC

Fuente [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com)

Estos valores son los parámetros que es capaz de desempeñar el inserto gracias al grado 4340 que posee versus distintas variedades de materiales tipo P

Tabla 2-5 Parámetros recomendados para Grado 4340 Sandvik

Materiales	Velocidad de corte (Vc) [m/min]
Acero al carbono con C = 0,1-0,25%	465-445-425
Acero al carbono con C = 0,025-0,55%	420-400-385
Acero al carbono con C = 0,55-0,80%	395-380-360
Acero baja aleación (elementos<5%) no templado	290-155-135
Acero baja aleación (elementos<5%) endurecido y templado	185-180-175
Alta aleación (elementos>5%) Recocido	190-185-175
Alta aleación (elementos>5%) Acero herramienta templado	160-150-145

Fuente: Herramientas rotativas Sandvik 2018

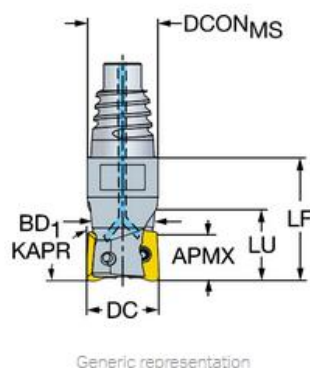
El valor de avance por diente (fz) del inserto son los que se encuentran en la página web de Sandvik estipuladas en la siguiente imagen

P	fz 0.1 mm(0.08-0.15) vc 280 m/min(280-275)	M	fz 0.1 mm(0.08-0.15) vc 225 m/min(225-215)
---	---	---	---

Fuente [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com)

Figura 2-5 Valores recomendados de avance por diente y velocidades de corte

#### 2.4.2 Porta-herramienta R390-032EH25-11L



Product data

Fuente [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com)

Figura 2-6 Representación genérica porta-herramientas Sandvik

Tabla 2-6 Dimensiones porta-herramienta Sandvik R390D-032A32-11M

Diámetro de corte (DC)	32 [mm]
Profundidad corte máxima	10 [mm]
Angulo máximo progresión en rampa	3,6 °
Mano	R
Diámetro de conexión (DCON)	24,2 [mm]
Velocidad de giro máxima	31000 rpm
Número de elementos de corte	2
Profundidad de corte máxima (APMX)	10 [mm]
Longitud funcional (LF)	35 [mm]
Profundidad máxima avance axial (AZ)	1 [mm]

Fuente [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com)

Antes de poder realizar el cálculo de los tiempos principales para el mecanizado del bloque de acero M238 primero debemos conocer la profundidad de corte que puede desempeñar el inserto de corte, para ello Sandvik Coromant tiene una formula exclusiva la cual se puede utilizar para averiguar ese dato.

Para este caso la potencia disponible de la máquina es de 7,4 [kW] lo que equivaldría al valor  $P_c$ , en cuanto al  $a_e$  se empleara el  $2/3$  del diámetro del porta-herramientas que es el valor recomendado por Sandvik al momento de fresar para evitar vibraciones, por lo que  $a_e = 2/3 * 32 = 21,33 = 21$  [mm]

#### 2.4.3 Cálculo de velocidad de avance

Para obtener el valor de avance de mesa ( $v_f$ ) se debe obtener primero el valor de velocidad del husillo  $n$ , el material M238 está dentro de la categoría de acero de baja aleación templado por lo que solo se debe consultar dicho apartado para descubrir la  $V_c$  que para este caso es de 175 [m/min] que es el valor para desbaste

$$n = \frac{175 * 1000}{\pi * 32} = 1740,7 \text{ rpm}$$

Posteriormente se calcula el valor de  $v_f$

$$v_f = 1740 * 0,15 * 2 = 522 \text{ [mm/min]}$$

#### 2.4.4 Cálculo de profundidad Sandvik

Para el cálculo de profundidad, valor de  $k_{c1}$  (fuerza específica de corte) por tabla correspondería a 1900 [N/mm<sup>2</sup>] ya que el acero M238 es un acero baja aleación que ha sido sometido a un tratamiento térmico. Por lo que la formula final en función de despejar la profundidad de corte sería

$$a_p = \frac{60 * 10^6 * 7,4}{21 * 522 * 1900} = [20,25 \text{ mm}]$$

Para el caso del inserto Sandvik que solo posee una longitud de filo de 10 [mm] se empleará como valor máximo posible de profundidad el  $2/3$  de la longitud que será igual a 6,6 [mm] y como valor mínimo de profundidad será el radio del inserto que en este caso es de 0,4 [mm].

#### 2.4.5 Cálculo de tiempos de mecanizado

Para el cálculo de tiempos principales se empleará la misma estrategia de trabajo que en los cálculos anteriores que consiste en arrancar 10 [mm] por cada lado del material en bruto para obtener exactitud dimensional en todas sus caras, pero utilizando los parámetros que ya han sido

obtenidos al momento de calcular la profundidad de corte los cuales son  $n= 1740$  rpm,  $vf = 522$  [mm/min] y profundidad máxima de 6,5 [mm].

En una primera instancia se eliminan 10 [mm] de uno de sus extremos de la pieza, recordando que el ancho del material en bruto es de 30 [mm]. El tiempo que demora esta operación será descrita a continuación.

$$\text{Cantidad de pasadas} = \frac{\text{material a arrancar}}{\text{Profundidad de corte}} = \frac{30 \text{ (mm)}}{6,5 \text{ (mm)}} = 4,6 \approx 5 \text{ pasadas}$$

$$T_p = \frac{320 \text{ (mm)} + 32 \text{ (mm)}}{522 \text{ (mm/min)}} = 0,67 \text{ (min)}$$

$$T_p \text{ mecanizado} = 0,67 \text{ (min)} * 5 \text{ (pasadas)} = 3,35 \text{ min}$$

La siguiente operación es realizar el mismo corte de 10 [mm] de forma perpendicular al corte ya realizado, para así, obtener la perpendicularidad en todas sus caras. El tiempo de operación y su cantidad de pasadas será descrito a continuación.

$$\text{Cantidad de pasadas} = \frac{\text{material a arrancar}}{\text{Profundidad de corte}} = \frac{30 \text{ (mm)}}{6,5 \text{ (mm)}} = 5 \text{ pasadas}$$

$$T_p = \frac{310 \text{ (mm)} + 32 \text{ (mm)}}{522 \text{ (mm/min)}} = 0,65 \text{ (min)}$$

$$T_p \text{ mecanizado} = 0,65 \text{ (min)} * 5 \text{ (pasadas)} = 3,25 \text{ min}$$

Las siguientes operaciones serán realizar el mismo corte en los dos extremos faltantes. El tiempo de mecanizado será descrito a continuación

$$T_p = \frac{310 \text{ (mm)} + 32 \text{ (mm)}}{522 \text{ (mm/min)}} = 0,65 \text{ (min)}$$

$$T_p \text{ mecanizado} = 0,65 \text{ (min)} * 5 \text{ (pasadas)} = 3,25 \text{ min}$$

$$T_p = \frac{300 \text{ (mm)} + 32 \text{ (mm)}}{522 \text{ (mm/min)}} = 0,63 \text{ (min)}$$

$$T_p \text{ mecanizado} = 0,63 \text{ (min)} * 5 \text{ (pasadas)} = 3,15 \text{ min}$$

Finalmente, ya con la placa en dimensiones de 300 [mm] \* 300 [mm] se procede reducir su espesor, para ello es necesario eliminar 5 [mm] repartido en sus dos superficies más grandes. Cabe destacar que por recomendación solo se utiliza 2/3 del diámetro de la herramienta, esto se realiza para reducir la vibración producida. Teniendo esto en consideración, la cantidad de pasadas para abarcar toda la superficie de la placa será:

$$N^{\circ} \text{ de pasadas} = \frac{\text{superficie placa}}{\frac{2}{3} \text{ Diametro herramienta}} = \frac{300 \text{ (mm)}}{21 \text{ (mm)}} = 14.28 \approx 15 \text{ pasadas}$$

Para eliminar los 5 [mm] necesarios, no se puede dar una profundidad directamente de 5 mm ya que se deben mecanizar las 2 caras más grandes del bloque por lo que el corte será distribuido en 2,5 [mm] por cara

El tiempo que demora esta operación será descrito a continuación

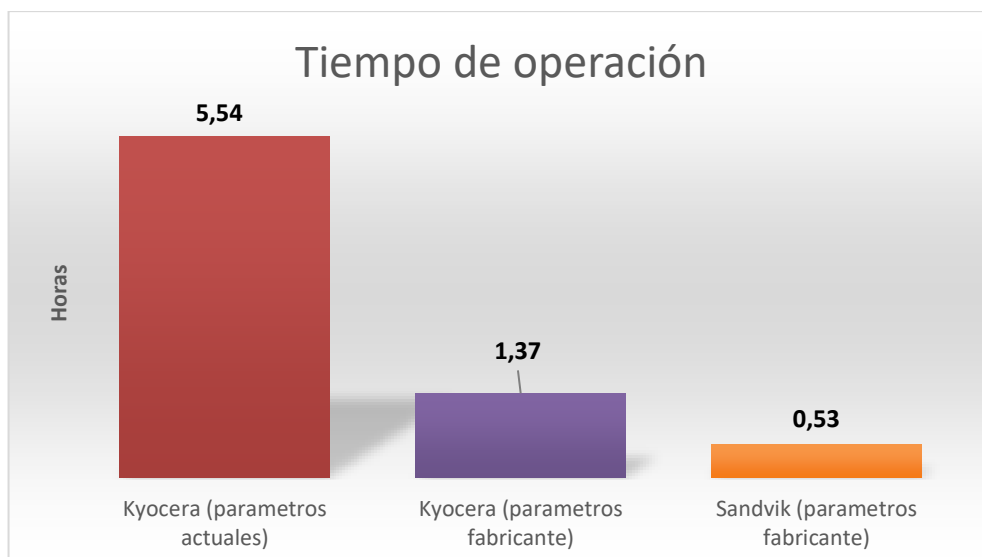
$$T_p = \frac{300 \text{ (mm)} + 32 \text{ (mm)}}{522 \text{ (mm/min)}} = 0,63 \text{ (min)}$$

$$T_p \text{ mecanizado} = 0,63 \text{ (min)} * 30 \text{ (pasadas)} = 18,9 \text{ min}$$

Teniendo todos los tiempos ya estimados, el resultado final será la sumatoria de todos estos

$$T_{total} \text{ mecanizado} = \Sigma \text{ tiempo mecanizado}$$

$$T_{total} \text{ mecanizado} = 3,35 + 3,25 + 3,25 + 3,15 + 18,9 = 31,9 \text{ min} = 0,53 \text{ hrs}$$



Fuente: Creacion propia

Grafico 2-1: Comparacion de tiempos de mecanizado

En resumen, y tomando en cuenta todos los cálculos realizados, es posible observar una evidente disminución en lo que a tiempos de mecanizado se refiere, utilizando en los dos primeros casos la misma herramienta pero con parámetros distintos, y un tercer caso tomando una herramienta de corte de una marca distinta como lo es Sandvik. Teniendo en cuenta es posible tomar estos valores para llevar a una comparación entre las dos marcas herramientas en cuestión y poder evaluar cuál de estas es la mejor opción y con ello, la propuesta de este trabajo de título.



**CÁPITULO 3 : EVALUACION DE PROPUESTAS**



### CÁPITULO 3 : EVALUACION DE PROPUESTAS

En este capítulo se busca establecer la mejor propuesta para la empresa AGM en torno a la fabricación de componentes mecánicos. Esto se realiza tomando en cuenta los cálculos realizados en el capítulo anterior donde se comparó los tiempos de mecanizado con los parámetros que utiliza el operador en dicha empresa con los que los fabricantes de la herramienta de corte recomiendan para una misma operación, además se buscó una herramienta de otro fabricante como lo es Sandvik con los cuales también se establecieron los tiempos de mecanizado para esta herramienta bajo las mismas condiciones y operaciones de trabajo. Con esto se pudo apreciar una gran diferencia en los tiempos principales que llevaba hacer la misma operación. Teniendo en cuenta este factor, es en este capítulo donde se evaluará el costo monetario de cada inserto, ya sea el ya disponible en la empresa (Kyocera) como el propuesto (Sandvik) para poder establecer una propuesta final.

#### 3.1 COSTOS ASOCIADOS A LA FABRICACION

Los costos que lleva realizar la operación mencionada en el capítulo dos serán definidos en el siguiente desarrollo.

##### 3.1.1 Costos herramientas Kyocera

El costo asociado a los insertos de la marca kyocera fueron obtenidos desde la página web [www.swedmaq.cl](http://www.swedmaq.cl) quienes son los encargados de comercializar estos insertos, además ofrecen una variada gama de herramientas para tornos, fresas y centros de mecanizado. Para este caso solo se considera el valor de cada inserto utilizado y no el costo del porta herramientas ya que este ya se encuentra en la empresa .

PR1225

INSERTO FRESA BDMT 11T304ER-JT PR1225 TKB00360

Código KYO223

Condición: Producto Nuevo

\$ 5.074 impuesto incluido

259 Productos

Cantidad 1

AGREGAR AL CARRITO

Tweet Compartir Google+ Pinterest

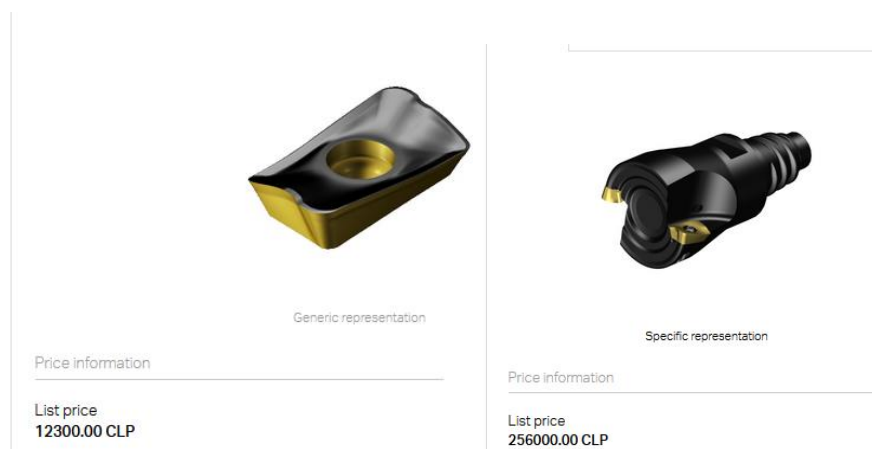
VER MÁS GRANDE

Fuente: [www.swedmaq.cl](http://www.swedmaq.cl)

Figura 3-1 : Precio inserto Kyocera

### 3.1.2. Costo herramienta Sandvik

El costo de los insertos Sandvik, seleccionados en el capítulo anterior fueron obtenidos directamente desde la página del fabricante en donde, después de seleccionar la herramienta mediante el TOOL GUIDE entrega el valor del inserto de corte como de su respectivo portaherramientas



Fuente: [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com)

Figura 3-2: Costo insertos y portaherramienta Sandvik

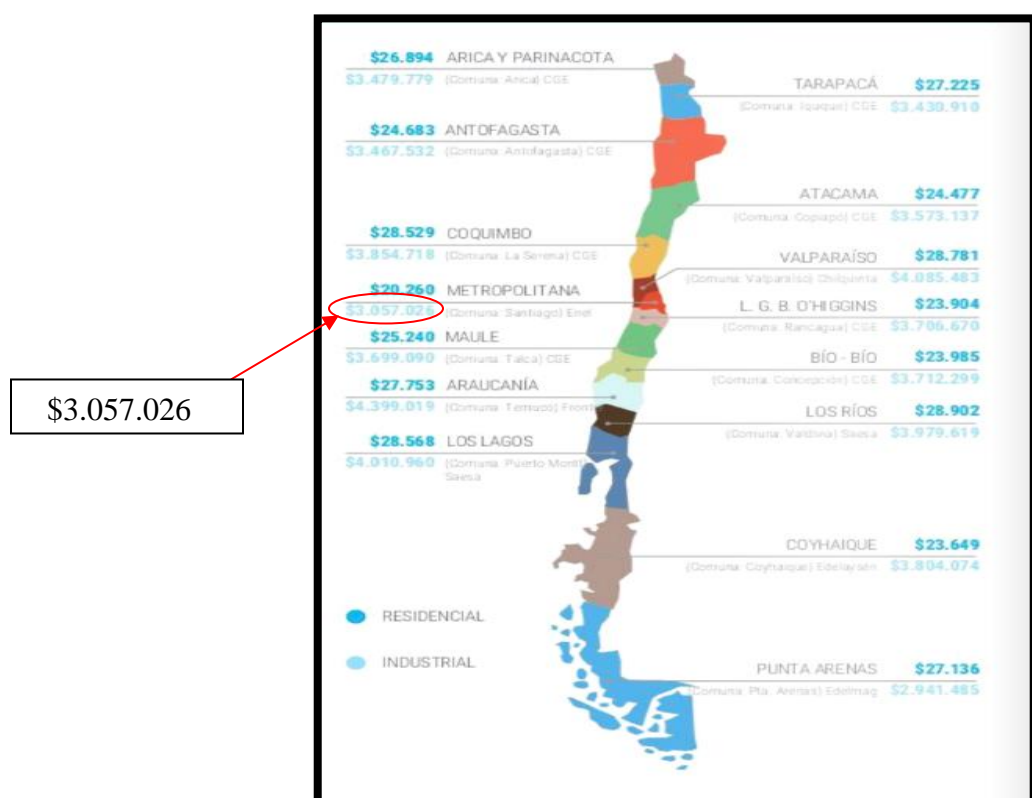
### 3.1.3. Costo hora maquina

Este costo está asociado al consumo de energía del centro de mecanizado que lleva la realización de la tarea mencionada en el capítulo dos. Se hace necesario poder considerar este factor ya que así se puede visualizar de mejor manera la relación entre el tiempo de mecanizado y el costo que conlleva esta operación. Este consumo está ligado a las normas de consumo de electricidad en Chile. El consumo promedio de electricidad en la región metropolitana es de 35.000 kWh con un valor de \$3.057.026 pesos como lo muestra la figura 3-3 (tarifa vigente a marzo 2019). Teniendo esto en consideración obtendremos que el costo de energía de la máquina queda representado de la siguiente forma

$$\text{costo kWh máquina} = \frac{\text{potencia máquina} * \text{costo promedio energía}}{\text{consumo promedio energía}}$$

Con esto obtendremos un valor correspondiente al costo kWh máquina

$$\text{costo kWh máquina} = \frac{7,4 \text{ kW} * \$3.057.026}{35.000 \frac{\text{kW}}{\text{h}}} = \$646,34$$



Fuente: <https://www.electricas.cl/temas-estrategicos/cuentas-simples-y-claras/>

Figura 3-3 Mapa costo energía promedio por región

#### 3.1.4. Costo hora hombre (HH)

Para que la máquina esté en funcionamiento esta debe primero ser operada por alguien y el tiempo durante el cual el operador está a cargo de la máquina mientras esta realiza su labor tiene también un costo monetario asociado que se evalúa en horas. Dentro de la empresa AGM ya existe un operador que está a cargo del funcionamiento de las máquinas CNC dicho operador es el señor Waldo Muñoz quien tiene el título de Técnico Universitario en Matricería, por sus años de experiencia y trayectoria dentro de la empresa una hora en la que él esté trabajando tiene un costo monetario aproximado de 12000 pesos chilenos por lo que al momento de operar la máquina este costo de hora hombre se suma al costo de hora máquina.

#### 3.2 DURABILIDAD DE LOS INSERTOS DE CORTE

A medida que los insertos de corte están realizando el arranque del material, la temperatura y las fuerzas que conllevan la operación comprometen la capacidad del inserto para poder realizar el corte hasta el punto en que su geometría o propiedades del inserto se ven alteradas hasta el punto de no poder seguir realizando la tarea de manera correcta, este fenómeno puede ser englobado como "La pérdida del filo" del inserto. Por esto los fabricantes de insertos de corte estipulan un tiempo determinado para el cual sus insertos serán capaces de desarrollar la tarea de corte de manera correcta sin ver sus propiedades comprometidas, esta es la llamada vida útil o durabilidad de la herramienta, pero esta vida útil solo aplicará dentro de los parámetros de corte para la cual el

inserto está diseñado, para parámetros fuera de los estipulados por los fabricantes la vida útil es incierta.

El fabricante Sandvik tiene estipulada una vida útil de 15 minutos para sus herramientas, luego de transcurrido ese tiempo se debería cambiar a otro filo del inserto o cambiar el inserto por otro, pero esta durabilidad puede ser alterada, Sandvik ofrece una tabla para la cual siguiendo los pasos se puede aumentar la vida útil de la herramienta. Para realizar el aumento o disminución de la vida útil de la herramienta se deben considerar los valores de la siguiente imagen. Para el caso del fabricante Kyocera no se logra estipular una vida útil determinada ya que sus catálogos no indica ningún valor, por lo que para este caso se tomara en cuenta la recomendación de Sandvik para ambos insertos.

Vida útil de la herramienta (min)	10	15	20	25	30	45	60
Factor de corrección	1.11	1.0	0.93	0.88	0.84	0.75	0.70

Fuente: PDF Tecnología del mecanizado Sandvik

Figura 3-3 Vida Útil de insertos de corte Sandvik

La vida útil de 15 min de las herramientas de corte está ligadas a un factor de corrección de 1, por lo que si se desea variar la vida útil de la herramienta se deberá modificar la velocidad de corte y esta modificación es la multiplicación de la velocidad de corte recomendada para el inserto por el factor de corrección ligado al tiempo que se desea que dure la herramienta. Si se deseara aumentar la vida útil de 15 a 60 minutos solo se debería multiplicar la velocidad de corte por el factor de 0.70.

Para el cálculo de cantidad de insertos utilizados en el mecanizado del molde de AGM se empleará el valor estándar de 15 minutos de vida útil, ya que así la productividad no se verá comprometida con la disminución de la velocidad de corte. Por lo que la vida útil del inserto será la multiplicación de la vida útil del filo que son 15 minutos por la cantidad de filos del inserto que para el inserto Sandvik y Kyocera es de 2, el cálculo nos dará una vida útil por inserto de 30 minutos o 0,5 hrs.

### 3.3 COSTO TOTAL POR OPERACIÓN

Tomando en cuenta todos los factores mencionados anteriormente, se puede hacer la sumatoria de ellos, con esto obtendremos el valor total que lleva realizar la operación mencionada anteriormente con la cual se puede observar la variación en lo que a costos de fabricación se refiere. Para obtener el resultado de costos total es necesario hacer la siguiente sumatoria.

Cabe destacar que los valores monetarios serán representados en unidades de fomento (UF), correspondientes a los publicados por el servicio de impuestos internos al día 17 de julio de 2019 con un valor igual a \$27.953,42

#### 3.3.1 Costo total insertos de corte

El valor total de los insertos consta del costo del inserto por la cantidad de insertos que usa la herramienta. Esto para los casos a analizar resulta en lo siguiente:

Tabla 3-1 : Costo total insertos

Inserto	Costo por inserto	Cantidad de insertos necesarios	Total (Unidades de fomento )
Kyocera	0,18 UF	4	0,73 UF
Sandvik	0,44 UF	2	0,88 UF

Fuente: creación propia

#### 3.3.2 Costo total hora hombre

Este resultado es el producto del valor de la hora hombre por el tiempo de mecanizado que lleva esta operación. Analizado en los tres casos estudiado el total HH (hora hombre) viene detallado a continuación

Tabla 3-2 : Costo total hora hombre

Parametros utilizados	Tiempo de mecanizado total (horas)	Valor hora hombre (UF)	Total
KYOCERA (parametros actuales)	5,54	0,43 UF	2,37 UF
KYOCERA (parametros según fabricante)	1,37	0,43 UF	0,60 UF
Sandvik (parametros según fabricante)	0,53	0,43 UF	0,23 UF

Fuente: creación propia

### 3.3.3 Costo cambio de herramienta

Este factor va en relación con la vida útil de la herramienta, para estos casos la vida útil mencionada por Sandvik es de 15 min por filo (inserto cuenta con dos filos), en el caso de KYOCERA la vida útil empleada actualmente por el operador es alrededor de tres horas, sin embargo, para esta propuesta se emplea una vida útil de 15 minutos por filo, con la finalidad de poder estandarizar este factor para ambas placas en cuestión. Esto se decide ya que el fabricante Kyocera no estipula dentro de sus catálogos la vida útil de la herramienta.

Si al mecanizar la pieza la vida útil del inserto se ha cumplido y todavía el trabajo no está terminado, se debe comprar más insertos para finalizar el trabajo con lo que esto implica un gasto adicional dependiendo en la cantidad de tiempo a mecanizar y la vida útil de los insertos.

### 3.3.4 Costo monetario por pieza

El horario de trabajo de la empresa AGM inicia a las 8:00 y termina a las 18:45 horas teniendo un tiempo de colación de aproximadamente 45 minutos esto de lunes a viernes, por lo que se cuenta con 10 horas de trabajo totales por día y 50 a la semana. Para el cálculo de piezas mensuales y anuales se tomará solamente 4 semanas por cada mes omitiendo días festivos, esto se traduce en 200 horas de trabajo mensuales y 2400 horas anuales. Por temas prácticos se resumirán en la siguiente tabla los parámetros importantes para el cálculo monetario por pieza.

Tabla 3-3: Tabla resumen parametros de mecanizado a considerar

Parametros de corte	Placas de corte	Kyocera (parametros trabajados en la empresa)	Kyocera (parametros según fabricante)	Sandvik (parametros según fabricante)
Velocidad de corte		111 [m/min]	80 [m/min]	175 [m/min]
Profundidad		0.4 [mm]	2,5 [mm]	6,5 [mm]
Velocidad de avance		500 [mm/min]	318,3 [mm/min]	522 [mm/min]
Tiempo de mecanizado		5,54 hrs	1,37 hrs	0,53 hrs

Fuente: creacion propia

Tabla 3-4: Analisis de costos de operación

Marca Maquina	Leadwell	N° piezas por montaje	1
Modelo	MCV-760XL	N° de piezas (mes)	36,068
Identificación	Centro mecanizado 1	N° de piezas (año)	432,82
Pieza a trabajar	Placa molde de inyección		

Análisis de costos operación		Insertos		
Detalle	Herramientas	Inserto Kyocera (parámetros actuales)	KYOCERA (parámetros fabricante)	SANDVIK (parámetros fabricante)
	Inserto de corte	0,18 UF	0,18 UF	0,44 UF
	Cantidad insertos	4	4	2
	Costo Hora maquina	0,02 UF	0,02 UF	0,02 UF
	Coste cambio de herramienta	0,73 UF	0,73 UF	0,88 UF
	Costo Hora Hombre	0,43 UF	0,43 UF	0,43 UF
	Tiempo Mecanizado (horas)	5,54	1,37	0,53
	Vida útil del inserto (horas)	3 hrs	0,5 hrs	0,5 hrs
	Cambio de herramientas adicionales	1	2	1
	<b>Total (UF)</b>	<b>3,9 UF</b>	<b>2,8 UF</b>	<b>1,9 UF</b>

Aumento de productividad para htas recomendadas (%)	0	404,37	1.045,28
Ahorros por pieza	0	1,1 UF	2 UF
Ahorros por unidad (mes)	0	39,59 UF	72 UF
Ahorros por año	0	475,08 UF	864 UF
Ahorros tiempo por pieza [horas]	0	4,17	5,01
Ahorros de tiempo por mes [horas]	0	150,12	180,36
Ahorros tiempo por año [horas]	0	1.801,44	2.164,32

Fuente: creacion propia

### 3.4 ANALISIS DE RESULTADOS

A pesar de que el número de piezas fabricadas del molde de inyección por mes y al año es desconocido, se teorizo que el número de piezas que se crean en la empresa es el máximo posible durante el tiempo de trabajo disponible en el mes/año. Aun así, se puede apreciar el aumento de productividad de ambas propuestas con respecto a la actual usada en la empresa.

Con respecto a los valores monetarios y cantidad de tiempo ahorrado, utilizando los parámetros de fábrica del inserto Kyocera y empleando un inserto de marca Sandvik se pueden apreciar resultados positivos. Para los dos insertos existe un ahorro de tiempo considerable de manera mensual siendo en este ámbito el inserto Sandvik superior por un margen de 30 horas con respecto a Kyocera. A pesar de que el ahorro monetario es reflejado tanto para el inserto Kyocera y Sandvik, sigue siendo este último el que presenta el mayor ahorro de dinero con una diferencia aproximada de 0,9 UF por pieza que al mes se convierte en 32,4 UF con respecto a Kyocera.

### 3.5 PROPUESTA

Utilizando los parámetros de fábrica Kyocera y empleando un inserto de corte Sandvik se pueden observar mejoras con respecto a los parámetros actuales de la empresa, sin embargo, es el inserto Sandvik quien presenta mayor mejora en relación al tiempo y costo. La propuesta que se debería utilizar es la herramienta de corte Sandvik ya que esta presenta un ahorro de 0,9 UF por pieza fabricada en comparación con la herramienta Kyocera. Cabe destacar que el uso de esta herramienta requiere la compra de un portaherramientas de la marca Sandvik lo que lleva a un costo adicional de 9,15 UF, sin embargo, este costo inicial se ve recuperado con la fabricación de alrededor de 5 piezas.

Considerando que se desconoce la cantidad de piezas fabricadas por año y que la empresa no facilita esa información es que resulta difícil considerar invertir en herramientas Sandvik sin poder estimar en cuanto tiempo se recuperará la inversión realizada.

Si la empresa considera que la fabricación de piezas realizadas en estos centros de mecanizado no es de un volumen significativo, se recomienda hacer uso de los parámetros estipulados por el fabricante Kyocera ya que estos presentan una mejora equivalente a 4,1 horas por pieza con respecto a los parámetros que se utilizan actualmente en la empresa. Considerando el costo de operación, se puede apreciar que el uso de los parámetros Kyocera estipulados por fabricante, contra los utilizados por la empresa resulta un ahorro de 1,1 UF.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El propósito de este trabajo fue proponer una mejora a los parámetros de mecanizado utilizado en la empresa AGM con la finalidad de reducir costos y/o disminuir tiempos de fabricación. Para ello se identificaron las condiciones de trabajo de la empresa, se presentaron los parámetros utilizados por el operador de la máquina y las maquinas utilizadas para estos trabajos

Como conclusión del objetivo general se puede decir que se cumple con el propósito de presentar la propuesta de mejora, dando así dos opciones a la empresa, en donde, en una primera instancia se plantea la modificación de los parámetros de mecanizado de acuerdo con lo que el fabricante recomienda, y en una segunda instancia, se propone utilizar herramientas del fabricante Sandvik con sus respectivos parámetros.

En relación con el primer objetivo específico, se puede decir que se cumple ya que en primer lugar se da a conocer los antecedentes generales de la empresa como su ubicación, distribución y el ámbito en donde este trabajo se enfoca, para luego, identificar los procesos donde intervienen los centros de mecanizado, para finalmente identificar la problemática de este trabajo.

Para el segundo objetivo específico el desarrollo cumple con entregar dos alternativas distintas a los parámetros ya existentes en la empresa, dichas propuestas que tienen una base teórica que las respalda gracias a los datos que el fabricante entrega. Con esto, se demuestra la reducción en los tiempos principales que estas dos nuevas propuestas presentan en comparación a las ya empleadas en la empresa.

Con respecto al tercer objetivo específico se puede apreciar que se cumple con su propósito ya que, es posible hacer el análisis tiempo-costo, en donde se evalúan las distintas variables que influyen en este. Cabe destacar que no se hace referencia al costo del porta herramientas Kyocera ya que este ya se encuentra en la empresa y no considera como un gasto a realizar. Para el caso de Sandvik es necesario considerar este costo ya que este no se encuentra en la empresa. Con respecto a la durabilidad de las herramientas se hace referencia a una vida útil igual a quince minutos para ambos fabricantes ya que Kyocera no estipula una vida útil para sus herramientas.

Como recomendación para esta propuesta es realizar un ensayo de desgaste para la herramienta Kyocera bajo la norma ISO 8688 ya que dentro de sus catálogos no estima una vida útil específica y al ser un valor importante puede ser un factor decisivo a la hora de escoger un inserto.

**BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN**

SANDVIK, Herramientas rotativas Sandvik Coromant. Suecia. 1997. 504 p.

SANDVIK, Formación manual, Tecnología de mecanizado de metal (pdf).2017,11. 391 p.

CARVALLO, José. Geometría de la viruta y fuerzas de corte (pdf). Chile. 2014. 62 diapositivas.

KYOCERA, Kyocera Milling Catalog (pdf). USA. 2013. 324 p.

## ANEXOS

### Anexo A

#### Fundamento de las recomendaciones de datos de corte

##### Compensación de la velocidad de corte para una mayor vida útil de la herramienta o un mayor régimen de arranque de metal

###### Vida útil

- Todos los datos de corte recomendados están basados en una vida útil de la herramienta de 15 min.
- En el cuadro de más abajo, 15 min de vida útil de la herramienta = factor de 1.0.
- Multiplicamos el factor para los minutos que necesitamos por la velocidad de corte recomendada.

###### Mayor vida útil de la herramienta (ejemplo)

- Nuestros datos de corte recomendados son 225 m/min (738 ft/min).
- Para aumentar la vida útil de la herramienta un 30 %, consultamos el factor para una vida útil de la herramienta de 20 minutos = 0,93.
- Multiplicamos el factor para los minutos que necesitamos por la velocidad de corte recomendada.
- $225 \text{ m/min} \times 0,93 = 209 \text{ m/min}$   
 $(738 \text{ ft/min} \times 0,93 = 686 \text{ ft/min})$ .

Vida útil de la herramienta (min)	10	15	20	25	30	45	60
Factor de corrección	1.11	1.0	0.93	0.88	0.84	0.75	0.70

###### Mayor régimen de arranque de metal por unidad de tiempo

- Los datos de corte recomendados están basados en una vida útil de la herramienta de 15 min.
- Para obtener un mayor régimen de arranque de metal, nos desplazaríamos en sentido opuesto en el cuadro. Reducimos los minutos de vida útil de la herramienta para lograr un régimen mayor de arranque de metal.
- Multiplicamos el factor para los minutos que necesitamos por la velocidad de corte recomendada.

###### Mayor régimen de arranque de metal (ejemplo)

- Los datos de corte recomendados son 225 m/min (738 ft/min).
- Para aumentar el régimen de arranque de metal un 10 %, consultamos el factor para 10 minutos = 1.11.
- Multiplicamos el factor para los minutos que necesitamos por la velocidad de corte recomendada.
- $225 \text{ m/min} \times 1,11 = 250 \text{ m/min}$   
 $(738 \text{ ft/min} \times 1,11 = 819 \text{ ft/min})$ .

## Anexo B

MECX

RECOMMENDED CUTTING CONDITIONS

### Recommended Cutting Conditions

Workpiece Material	Feed Rate fz (ipt)		Recommended Insert Grade Vc (sfm)				
	JS Chipbreaker	JT Chipbreaker	MEGACOAT NANO PR1535	MEGACOAT PR1225	MEGACOAT PR1210	PVD Coated Carbide PR830	CVD Coated Carbide CA6535
Carbon Steel	0.002- <b>0.003</b> -0.004	0.002- <b>0.004</b> -0.005	390- <sup>☆</sup> 590-820	390- <sup>★</sup> 590-820	-	390- <sup>☆</sup> 490-590	-
Alloy Steel	0.002- <b>0.0025</b> -0.003	0.002- <b>0.003</b> -0.004	330- <sup>☆</sup> 520-720	330- <sup>★</sup> 520-720	-	330- <sup>☆</sup> 460-590	-
Mold Steel	0.002- <b>0.0025</b> -0.003	0.002- <b>0.003</b> -0.004	260- <sup>☆</sup> 460-590	260- <sup>★</sup> 460-590	-	260- <sup>☆</sup> 390-490	-
Austenitic Stainless Steel	0.001- <b>0.0015</b> -0.002	0.002- <b>0.0025</b> -0.003	390- <sup>★</sup> 590-820	390- <sup>☆</sup> 590-820	-	-	-
Martensitic Stainless Steel	0.001- <b>0.0015</b> -0.002	0.002- <b>0.0025</b> -0.004	490- <sup>☆</sup> 660-820	-	-	-	590- <sup>★</sup> 790-980
Precipitation Hardened Stainless Steel	0.001- <b>0.0015</b> -0.002	0.002- <b>0.0025</b> -0.004	300- <sup>★</sup> 390-490	-	-	-	-
Gray Cast Iron	0.002- <b>0.003</b> -0.004	0.003- <b>0.004</b> -0.006	-	-	390- <sup>★</sup> 590-820	-	-
Nodular Cast Iron	0.002- <b>0.0025</b> -0.003	0.003- <b>0.004</b> -0.005	-	-	330- <sup>★</sup> 490-660	-	-
Ni-base Heat Resistant Alloy	0.001- <b>0.0015</b> -0.002	0.002- <b>0.0025</b> -0.003	70- <sup>☆</sup> 100-160	-	-	-	70- <sup>★</sup> 100-160
Titanium Alloy	0.002- <b>0.0025</b> -0.003	0.003- <b>0.004</b> -0.005	130- <sup>★</sup> 200-260	-	100- <sup>☆</sup> 160-230	-	-

※ Machining with coolant is recommended for Titanium Alloy.

★ 1st Recommendation ☆ 2nd Recommendation

## Anexo C


**OFERTA ACEROS TITANIUM  
N°12122018 MA**

 Page 1  
 Fecha: 12/12/2018

 Atención a:  
 Sr. Gonzalo Arancibia

 Cliente:  
 USM Sede Viña del Mar

 Su referencia:  
 Su solicitud  
 Herramientas de mecanizado

 1 R390D-032A32-11M Fresa de escuadrar amortiguada CoroMill® 390  
 1 R390-11 T3 04M-PM 4340 CoroMill® 390, plaquita para fresado

Agradecemos su consulta y tenemos el agrado de presentar la siguiente Oferta de Venta:

Cantidad	Unidad	Producto	P.Unitario \$	P. TOTAL \$
1	Unid.	Fresa de ranurar Diam.32mm Con 3 insertos de 11mm Largo total 130mm Código R390-032A32-11M	\$244.000	\$244.000
10	Unid.	Inserto de fresado 11mm radio 0,4mm 2 filos para aceros al carbono e inox (ISO P) Código R390-11T304M-PM 4340	\$11.900	\$119.000

**Considerar un descuento 10%**

Condiciones Generales:

- Precios Netos + IVA. En pesos chilenos.
- Entrega en 8 días.
- Lugar de entrega: Despacho gratuito dentro de Santiago o su transporte en Santiago
- Validez de la oferta: Hasta el 28 de Diciembre del 2018.
- Forma de pago: 30 días fecha de factura.

Saluda atentamente,

**Marcelo Arancibia**

Aceros Titanium Chile Ltda.

## Anexo D

A		Milling		Cutting data														
Milling with large engagement, metric values																		
B	ISO P		Material	Specific cutting force $f_{c1}$	Hardness Brinell	mc	GC4330				GC4340		GC1130					
	MC No.	CMC No.					Max chip thickness, $b_p$ mm				0.1-0.2-0.3		0.1-0.2-0.3		0.05-0.1-0.2			
							Cutting speed $v_c$ , m/min											
Steel																		
Unalloyed																		
P1.1.Z.AN	01.1	C = 0.1-0.25%	1500	125	0.25	400-405-330	340-280-230	375-340-280										
P1.2.Z.AN	01.2	C = 0.25-0.55%	1600	150	0.25	300-291-245	305-250-205	335-305-250										
P1.3.Z.AN	01.3	C = 0.55-0.80%	1700	170	0.25	340-280-230	390-235-185	300-260-215										
P1.3.Z.AN	01.4		1800	210	0.25	295-245-200	250-205-170	275-230-205										
P1.3.Z.HT	01.5		2000	300	0.25	220-180-150	185-155-125	205-165-155										
Low alloyed (alloying elements < 5%)																		
P2.1.Z.AN	02.1	Non-hardened	1700	175	0.25	280-230-190	240-195-160	265-240-195										
P2.5.Z.HT	02.2	Hardened and tempered	1900	300	0.25	185-150-125	155-130-105	170-155-130										
High alloyed (alloying elements > 5%)																		
P3.0.Z.AN	03.11	Annealed	1950	200	0.25	195-160-130	165-135-110	180-165-135										
P3.1.Z.AN	03.13	Hardened tool steel	2150	200	0.25	190-130-110	135-110-90	150-135-110										
P3.0.Z.HT	03.21		2900	300	0.25	140-115-90	125-100-80	130-120-100										
P3.0.Z.HT	03.22		3100	380	0.25	85-70-60	75-60-50	80-75-60										
Castings																		
P1.5.C.UT	06.1	Unalloyed	1400	150	0.25	290-215-175	220-180-150	245-220-180										
P2.0.C.UT	06.2	Low alloyed (alloying elements < 5%)	1600	200	0.25	295-170-140	175-145-120	195-175-145										
P3.0.C.UT	06.3	High alloyed (alloying elements > 5%)	1950	200	0.25	150-125-100	130-105-85	140-130-105										
D	ISO M		Material	Specific cutting force $f_{c1}$	Hardness Brinell	mc	GC1040				GC2040		GC4340		GC1130			
	MC No.	CMC No.					Max chip thickness, $b_p$ mm				0.05-0.15-0.25		0.1-0.2-0.3		0.1-0.2-0.4		0.05-0.1-0.2	
							Cutting speed $v_c$ , m/min											
Stainless steel																		
Ferritic/martensitic																		
P5.0.Z.AN	05.11	Non-hardened	1800	200	0.21	185-140-125	240-190-155	210-170-110	255-225-180									
P5.0.Z.PH	05.12	PH-hardened	2850	330	0.21	130-100-70	165-130-105	140-110-70	180-160-130									
P5.0.Z.HT	05.13	Hardened	2350	330	0.21	135-100-75	175-140-110	160-125-80	185-165-135									
Austenitic																		
M1.0.Z.AQ	05.21	Non-hardened	1950	200	0.21	180-135-100	200-160-130	185-150-95	250-225-180									
M1.0.Z.PH	05.22	PH-hardened	2850	330	0.21	125-95-70	160-125-100	135-105-70	170-155-125									
M2.0.Z.AQ	05.23	Super austenitic	2250	200		125-90-70	-	-	-									
Austenitic-ferritic (Duplex)																		
M3.1.Z.AQ	05.51	Non-weldable > 0.05%N	2000	230	0.21	150-115-85	170-135-105	170-135-85	205-185-145									
M3.2.Z.AQ	05.52	Weldable < 0.05%N	2450	290	0.21	125-95-70	135-110-85	135-110-70	175-155-125									
Stainless steel - Cast																		
Ferritic/martensitic																		
P5.0.C.UT	15.11	Non-hardened	1700	200	0.25	185-125-90	210-170-135	185-150-95	225-200-180									
P5.0.C.PH	15.12	PH-hardened	2450	330	0.25	115-85-65	145-115-90	120-100-65	155-140-115									
P5.0.C.HT	15.13	Hardened	2150	330	0.25	125-90-70	160-130-100	145-115-75	170-155-120									
Austenitic																		
M1.0.C.UT	15.21	Non-hardened	1800	200	0.25	175-130-95	190-155-125	165-130-105	235-210-170									
M1.0.C.PH	15.22	PH-hardened	2450	330	0.25	115-85-65	145-115-90	125-100-65	160-140-115									
M2.0.C.AQ	15.23	Super austenitic	2150	200		110-85-60	-	-	-									
Austenitic-ferritic (Duplex)																		
M3.1.C.AQ	15.51	Non-weldable > 0.05%N	1800	230	0.25	145-105-80	160-125-100	160-125-80	195-175-140									
M3.2.C.AQ	15.52	Weldable < 0.05%N	2250	290	0.25	115-85-65	130-100-80	125-100-65	160-145-115									
G	ISO K		Material	Specific cutting force $f_{c1}$	Hardness Brinell	mc	GC3040				GC1020		GC4330		GC4340			
	MC No.	CMC No.					Max chip thickness, $b_p$ mm				0.1-0.2-0.4		0.1-0.2-0.3		0.1-0.2-0.3		0.1-0.2-0.3	
							Cutting speed $v_c$ , m/min											
Malleable cast iron																		
K1.1.C.NB	07.1	Ferritic (short chipping)	700	130	0.28	240-195-135	295-170-140	215-175-145	195-180-130									
K1.1.C.NB	07.2	Ferritic (long chipping)	900	230	0.28	200-195-110	170-140-115	175-145-120	180-130-110									
Grey cast iron																		
K2.1.C.UT	08.1	Low tensile strength	800	180	0.28	200-215-145	225-185-150	230-190-155	215-175-145									
K2.2.C.UT	08.2	High tensile strength	1100	245	0.28	210-170-115	180-145-120	185-155-125	170-140-115									
Nodular cast iron																		
K3.1.C.UT	08.1	Ferritic	900	190	0.28	185-135-90	140-115-85	145-120-100	135-110-90									
K3.3.C.UT	08.2	Ferritic	1350	250	0.28	150-125-85	130-105-80	135-110-80	125-100-85									

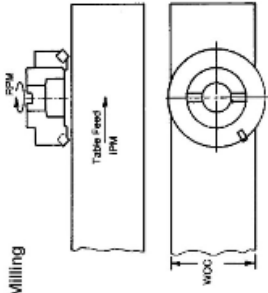


Conditions:  
Cutter, dia. 125 mm, centered over the workplace. Working engagement 100 mm.



BASIC MILLING FORMULAS (Inch)

■ Milling



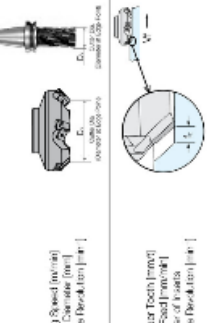
- Surface Speed per Minute  
 $SPM = 0.262 \times CV \times RPM$
- Revolutions per Minute  
 $RPM = \frac{336 \times SPM}{D}$
- Feedrate (Inches/Minute)  
 $IPM = PT \times N \times FPM$
- Feedrate (Inches/Tooth)  
 $FPM = \frac{IPM}{RPM}$
- Feedrate (Inches/Tooth) for 90° Cutters  
 $FPM = \frac{IPM}{RPM} \times \frac{1}{\sqrt{\frac{D}{WOC}}}$

■ Definition of Terms

- CV = Diameter of the Workpiece (Inches)
- D.O.C. = Axial Depth of Cut (Inches)
- FF = Machine Feedrate
- F = Feedrate (See RPM, IPM, and FPM)
- FPM = Horsepower Required at the Motor (HP)
- IPM = Horsepower Required at the Spindle (HP)
- IPM = Feedrate (Inches per Minute)
- IPR = Feedrate (Inches per Revolution)
- IPR = Feedrate (Inches per Tooth)
- F = Cutter Compensation Factor

BASIC MILLING FORMULAS (Metric)

■ Milling



- Cutting Speed  
 $V_c = \frac{\pi \times D \times S}{1,000}$
- Table Feed & Feed per Tooth  
 $V_f = \frac{V_c}{Z \times n}$
- Power Requirement  
 $PW = \frac{K_s \times Q}{5,120 \times S \times I} = \frac{K_s \times 330 \times V_c \times F \times SP}{5,120,000 \times I}$   
 $= \frac{K_s \times 330 \times Z \times n \times I \times SP}{5,120,000 \times I}$
- Chip Removal Volume  
 $Q = \frac{330 \times V_c \times SP}{1,000} = \frac{330 \times Z \times n \times I \times SP}{1,000}$
- Cutting Time  
 $T = \frac{50 \times L}{V_c} = \frac{50 \times L}{Z \times n \times F}$
- Table Rake Angle  
 $\tan T = \tan R \times \cos C + \tan A \times \sin C$
- True Rake Angle  
 $\tan R = \tan A \times \cos C - \tan R \times \sin C$
- Table Feed & Feed per Tooth  
 $F = \frac{1,000 \times V_f}{Z \times n \times \sqrt{\frac{D}{WOC}}}$

Chip Removal Volume (mm <sup>3</sup> /min)	Chip Removal Volume (in <sup>3</sup> /min)
Low Carbon Steel	100
Medium Carbon Steel	210
High Carbon Steel	240
Cast Iron	180
High Alloy Steel	200
Cast Iron	53
Machine Cast Iron	100
Brass	70

