

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Liberación de un proceso de  
maquinado de un producto  
del sector automotriz**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Mecánico**

**P R E S E N T A**

Luis Alfredo Mendoza Cruz

**ASESOR DE INFORME**

Dr. Álvaro Ayala Ruiz



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018**

**OBJETIVO**.....1

**INTRODUCCIÓN**.....2

## **CAPÍTULO 1. DESCRIPCION DE LA EMPRESA**

1.1 Historia de la empresa.....4

1.2 Visión.....4

1.3 Misión..... 4

1.4 Descripción de división de maquinado y ensamble  
(División 1).....6

1.5 Organigrama de la empresa.....7

## **CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL PUESTO DE TRBAJO**

2.1 Descripción del puesto de trabajo por RH.....11

2.2 Descripción del puesto de trabajo .....12

## **CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE ACTIVIDADES**

3.1 Desarrollo de actividades.....13

## **CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDIO**

4.1 Información del producto.....22

4.2 Requerimientos especiales del cliente.....23

4.3 Información del proceso .....25

4.4 Proceso de maquinado de primera operación.....30

4.5 Proceso de maquinado de segunda operación.....42

## **CONCLUSIONES**

## **OBJETIVO**

---

Liberar un proceso de maquinado de un producto del sector automotriz que cumpla con los volúmenes y calidad requerida por el cliente.

## INTRODUCCIÓN

---

La industria automotriz a lo largo de la historia ha tenido un gran impacto en el crecimiento económico de los países que forman parte del desarrollo de un automóvil, el diseño, manufactura de partes, ensamble final y su venta al público, aunque sin duda la manufactura de partes y el ensamble de ellas generan un mayor valor en el desarrollo económico pues teniendo plantas en el país garantiza fuentes de empleos que benefician directamente o indirectamente los sectores metalmecánico, plásticos, tecnológico y demás, se estima que por cada empleo en el sector automotriz se generan automáticamente 5 empleos más en el resto de la economía.

La industria automotriz exige una alta calidad en cada uno de sus productos, materiales ligeros de alta calidad con la capacidad de usarlos con otros materiales como acero y/o plástico con ensambles complejos y de alta precisión.

En este trabajo se desarrollara un caso de estudio sobre la liberación de un proceso de maquinado de un producto de aluminio para el sector automotriz bajo la filosofía de trabajo en conjunto, calidad de los productos y la seguridad de los operadores así como de las personas que están en contacto con nuestros productos en cada una de sus etapas hasta llegar al cliente final.

# CAPÍTULO 1.

## DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

### 1.1 Historia de la empresa

La empresa para la que trabajo es una empresa fundada en 1967 en la ciudad de México, en donde el día de hoy encontramos sus oficinas corporativa y donde prevalece su primera planta de maquinado de piezas de aluminio y ensamble de componentes de plástico y acero.

Nuestro grupo es una empresa del sector automotriz que inició su carrera en la industria como fabricante de bombas y carburadores, de ahí su nombre.

### 1.2 Visión

El grupo es un líder confiable en Norteamérica para el desarrollo, manufactura, producción y venta de componentes y módulos automotrices de alta calidad, con un crecimiento continuo y rentable. Nuestros colaboradores calificados, motivados y leales son la base de nuestra calidad y excelencia.

### 1.3 Misión

El grupo es un aliado estratégico y confiable en la fabricación de componentes. Excedemos las expectativas de nuestros clientes con base en nuestras ventajas tecnológicas, colaboradores altamente certificados y competencias en desarrollo e ingeniería.

El día de hoy contamos con tres divisiones (Figura 1.1):



Figura 1.1. Divisiones del grupo

**División de maquinado y ensamble:** Esta es la división de maquinado de piezas en aluminio con ensambles de acero y plástico, prototipos, diseño y pruebas para la industria automotriz, para el maquinado se usan dos tipos de centros de maquinado, tornos y fresadoras hasta de 5 ejes.

**División de plásticos:** División de componentes de plástico para la industria automotriz por procesos de inyección, pintura y ensamble.

**División aluminio:** Esta división se encarga de elaborar las piezas de fundición para su posterior maquinado, el proceso se hace de dos maneras distintas, por gravedad y a presión, el proceso de gravedad es hecho de una manera "artesanal", aquí se toma el aluminio fundido con palas que tienen forma de cucharas y se vierten en moldes, el operador requiere de gran experiencia pues si el material se vierte muy rápido o muy lento en el molde se pueden generar defectos como poros, líneas de soldadura y falta de material en algunas zonas, este proceso se usa para piezas muy complejas, regularmente piezas con formas circulares y toroides.

Hoy se cuenta con más de 6,000 empleados, 11 plantas productivas alrededor de la república Mexicana (Figura 1.2) en estados estratégicamente ubicados y oficinas de desarrollo en nuestro país, Alemania, Japón y Estados Unidos para ofrecer una red global a nuestros clientes y proporcionarles procesos completamente consistentes en cualquier parte del mundo



Figura 1.2. Plantas del grupo en la república mexicana

#### 1.4 Descripción de la división de maquinado y ensamble

Yo pertenezco a esta división, división de maquinado y ensamble, en el cual su enfoque es la manufactura de partes de aluminio con ensambles de plástico y acero de alta calidad, precisión y complejidad para aplicaciones automotrices, la cual es una de nuestras fortalezas.

Desde su fundación en 1967, siendo la planta de la ciudad de México la primera planta del grupo, nuestra filosofía ha sido: los productos innovadores de alta calidad representan un constante desafío tecnológico y humano. Nos negamos a ser conformistas con nuestros logros y trabajos estrictamente y estamos regidos por un principio "Disciplina, Orden y Limpieza",

La confiabilidad, la permanencia, el profesionalismo y la calidad son elementos cada vez más importantes para mantener la ventaja competitiva en un mundo comercial en constante aceleración.

Nuestro nivel de compromiso con el negocio garantiza una rápida toma de decisiones, aumentando la motivación y compromiso.

Nos consideramos una empresa socialmente responsable, interesada en el bienestar de nuestros empleados, así como en el medio ambiente es por eso que desarrollamos y motivamos a nuestra gente con objetivos específicos. Ellos son la base de nuestro trabajo y desempeño, nuestro éxito se debe al alto nivel de compromiso con sus tareas y proyectos, lo cual alentamos con nuestros principales valores como la lealtad, el compromiso, la honestidad, la unión y la confianza en el día a día. Con esto, nuestro objetivo es lograr un desempeño excepcional, un dominio sostenible y responsabilidad personal lo que no podríamos lograr sin condiciones agradables de trabajo y oportunidades de crecimiento orientado.

También desarrollamos a nuestros especialistas en sus campos y ejecutamos programas de desarrollo independientes en auto-gestión, liderazgo y ventas. La mayoría de nuestro talento joven es capacitado internamente. Contamos con nuestro propio taller de formación (taller de aprendices), donde preparamos a nuestros jóvenes técnicos según nuestros programas de aprendizaje.

Finalmente nuestra continua inversión en tecnología de punta y nuestra localización en México, nos permiten proporcionar una excelente calidad a un precio competitivo.

### **1.5 Organigrama de la empresa**

La empresa para la que trabajo cuenta con más de 10 gerencias, el área de Ingeniería de procesos a la cual yo pertenezco, depende de tres coordinaciones y estas a su vez a la gerencia de Ingeniería de Procesos, donde le reportó directamente al gerente de Ingeniería de Procesos, el cual tiene a su cargo estas 3 coordinaciones, 17 técnicos y 9 ingenieros de procesos (Figura 1.3), entre las áreas de maquinado, ensamble, ingeniería industrial, almacén de herramientas, afilado y fluidos de corte.



El gerente de Procesos verifica que los procesos cotizados sean posibles de lograr, aprueba las cotizaciones de equipos de maquinado, lavado y ensamble, herramientas y periféricos, además plantea objetivos individuales para cada uno de los integrantes del departamento en función de los objetivos planteados a nivel planta, orientándonos, dirigiéndonos y tomando las decisiones pertinentes para que los objetivos se cumplan semestralmente.

Por otro lado, el gerente de desarrollo técnico en conjunto con su equipo de trabajo (Figura 1.3) es la vía de comunicación con el cliente y las demás áreas involucradas en cada proyecto, desde que este inicia hasta que la pieza deja de producirse, a través del departamento de desarrollo técnico se son notificados los cambios de ingeniería que pudieran existir en las piezas y requerimientos adicionales del cliente. Los ingenieros de desarrollo técnico son la parte del equipo multidisciplinario que conocen el funcionamiento de la pieza y sus zonas más críticas.

De igual forma los ingenieros de desarrollo técnico son el conducto por el cual se me consulta sobre la factibilidad de cambios en moldes de la materia prima. La gerencia de desarrollo técnico trabaja en conjunto con la gerencia de proyectos y esta a su vez con la gerencia de ventas en la etapa de desarrollo de nuevos productos. La gerencia de ventas es el primer contacto con el cliente, solicita cotizaciones a departamentos como ingeniería de procesos, logística y calidad para estimar el precio de las piezas. Una vez ganado el proyecto a través del departamento de ventas la gerencia de proyectos gestiona los recursos económicos para la compra de equipos para la producción de las piezas, equipos para el aseguramiento de calidad, transporte y empaque de los productos terminados

La gerencia de calidad es responsable de 3 áreas (Figura 1.3), en ingeniería de calidad producto se encarga de la aprobación de planes de control para verificar la calidad de las piezas con una frecuencia definida, de la compra de medios de control, máquinas de medición por coordenadas y todo lo necesario para asegurar la calidad de los productos durante su producción. Por otra parte gestiona que las piezas cumplan con la calidad requerida en el día a día de la producción por medio de auditorías, revisión de reportes de medición y autocontroles con su equipo de calidad proceso, en conjunto con el área de metrología donde se desarrollan programas de medición para el monitoreo de las piezas por medio de una máquina de medición por coordenadas.

El gerente de logística se encarga de coordinar la planeación de la producción de acuerdo a los requerimientos del cliente y la capacidad de la planta, embarque y entrega de los productos, por otro lado, autoriza la compra y recepción de materia prima y componentes que requieran ser ensamblados en las piezas.

Finalmente el desarrollo antes mencionado converge en nuestro cliente interno, el departamento de producción. El gerente de producción y mantenimiento tiene a su cargo a dos líderes de áreas productivas (Figura 1.3) y es responsable de administrar el recurso humano para cumplir con los programas del departamento de logística y a su vez con los requerimientos de los clientes. Además, administra planea y autoriza la compra de refacciones, mantenimientos preventivos y la contratación de especialistas para la instalación de equipos de alta tecnología y su puesta en marcha.

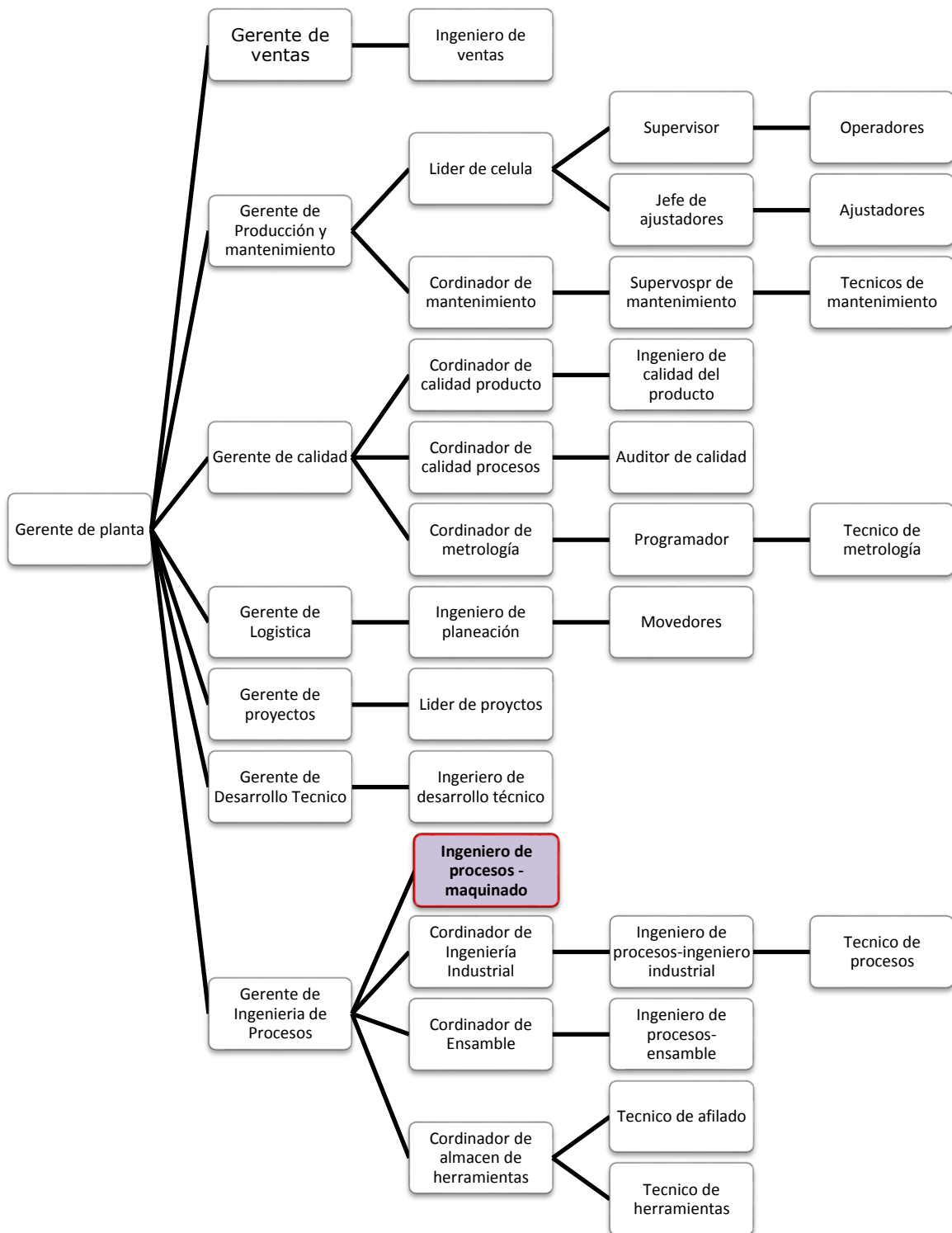


Figura 1.3. Organigrama de la empresa (áreas con las que estoy en contacto)

## **CAPÍTULO 2.**

---

### **DESCRIPCIÓN DEL PUESTO DE TRABAJO**

#### **2.1 Descripción del puesto de trabajo por Recursos Humanos**

A mi ingreso a la compañía inicié como ingeniero en entrenamiento, este es un plan de entrenamiento que está programado con una duración de un año y tres meses. Personal de Recursos humanos de la compañía oferta el puesto de trabajo para personas interesadas en obtener un desarrollo dentro de una planta del sector automotriz, en el área de Ingeniería de procesos maquinado, el cual debía cumplir con el siguiente perfil:

- Ingeniero mecánico, mecatrónico o industrial en proceso de titulación.
- Inglés avanzado.
- Interés de desarrollarse en planta.
- Promedio mínimo de 8.5

Después de cumplir con este plan de entrenamiento en la compañía obtuve la posición de ingeniero de procesos maquinado. Para este puesto el personal de recursos solicita lo siguiente:

- Ingeniero capaz de proponer procesos de maquinado, lavado y ensamble alineados a la estandarización, competitivos (tiempo ciclo, inversión, calidad) y en tiempo; requeridos por el área de ventas.
- Realizar estudios de tiempo de maquinado, lavado y ensamble; proponer concepto de sujeción; realizar presentaciones técnicas; evaluar efectividad vs proceso real.
- Conocer las ventajas tecnológicas de los equipos (maquinado, lavado, ensamble) y las herramientas de corte para su aprovechamiento; Conocer los procesos de fundición de aluminio.
- Ing. Mecánico, Mecatrónica o afín
- Experiencia de por lo menos 2 años en Procesos de Maquinado dentro de la industria automotriz
- Inglés avanzado

## **2.2 Descripción del puesto de trabajo actual**

Como ingeniero de procesos he desarrollado las siguientes habilidades:

- Soy capaz de diseñar, ejecutar y mejorar procesos de maquinado.
- Leer e interpretar dibujos de ingeniería
- Tengo conocimiento en GD&T (Tolerancias Geométricas y Dimensionales).
- Capacitación a ajustadores y operadores.
- Trabajar con equipos multidisciplinarios para la elaboración de (AMEF y QRQC).
- Programación de código G y M
- Selección y cambios de ingeniería en herramientas de corte.
- Liberación de dispositivos de sujeción de maquinado.
- Puesta en marcha de centros de maquinado.
- Elaboración de documentación (diagramas de flujo, hoja de operación estándar, hojas de parámetros y ayudas visuales).
- Calculo de vida útil de herramientas.
- Elaboración de archivos de vida útil de herramientas de corte y portadas de cartas de ajuste con secuencia de maquinado.
- Capacidad de leer e interpretar reportes de metrología.
- Ergonomizar líneas de producción.
- Liberación de procesos con CPk mayor a 1.67.
- Cumplir con tiempos ciclo muy competitivos.
- Diseñar procesos seguros con una manera sencilla de cargar y descargar piezas.
- Configuración del sistema hidráulico y neumático de centros de maquinado.
- Programación e implementación de palpadores para la compensación de temperatura por el crecimiento de ejes en los centros de maquinado durante los procesos de maquinado,

## CAPÍTULO 3.

---

### DESARROLLO DE ACTIVIDADES

#### 3.1 Desarrollo de actividades

Nuestros procesos inician en el área de ventas, donde una vez recibida la información de un producto nuevo de alguno de nuestros clientes, se recurre a nuestra área (Ingeniería de Procesos) para realizar las cotizaciones de estos productos, las cotizaciones las realizan los ingenieros de procesos con más experiencia dentro de la compañía, uno de ellos con 29 años y el otro con 19 años en la compañía.

Los puntos que se toman en cuenta para la realización de la cotización son:

- Volúmenes anuales
- Material de la pieza
- Tolerancias y características críticas
- Complejidad de la forma de la pieza
- Rugosidades y acabados superficiales
- Volumen de la pieza

Con estos puntos como ingenieros de procesos de la parte de maquinado se selecciona y estima lo siguiente:

- Tipo de máquina (CNC) y cantidad de máquinas
  - o Centros de maquinado con uno o dos husillos
  - o Centros de maquinado de una o dos mesas
  - o Número de ejes de centro de maquinado
  - o Tamaño de la máquina
- Selección de torno
- Selección de herramientas de corte (carburo, PCD y carburo con recubrimientos de TiN)
  - o Brocas
  - o Rimas
  - o Cortadores de forma

- o Fresas para planear
  - o Machuelos
  - o Formadores
- Estimado de dispositivos de maquinado
  - Número de operadores
  - Número de operaciones
  - Piezas maquinadas por hora

Además de los puntos antes mencionados la parte de ingeniería de procesos-ensamble diseña y selecciona lo siguiente (siempre que la pieza lo requiera).

- Máquinas de ensamble
- Máquinas para prueba de hermeticidad
- Lavadoras
- Lavadora con Rebabeo a alta presión
- Máquinas de electro-rebabeo
- Dispositivos de electro-rebabeo
- Máquinas de desensamble
- Máquinas de marcaje de data matrix

Después de seleccionar algunos de los puntos antes mencionados para el proceso manufactura, se entregan las cotizaciones al área de ventas y de ganarse el proyecto ellos son los encargados de avisarnos para realizar la compra de herramientas, porta herramientas, dispositivos de maquinado, máquinas, lavadoras, dispositivos de ensamble y demás cosas que se requieran para comenzar con la producción de piezas.

Para cada uno de los procesos el gerente de ingeniería de procesos, asigna un ingeniero de procesos-maquinado y un ingeniero de procesos-ensamble, siempre apoyados por un ingeniero industrial que nos ayuda a que nuestros procesos sean *lean* (sin desperdicios) y también con la elaboración de bandas transportadoras, pallets, tarimas y periféricos que sean necesarios para el proceso, reduciendo la cantidad de movimientos de los operadores y tiempos muertos. Cabe mencionar que soy el único ingeniero de procesos que además de estar a cargo de procesos de maquinado también soy responsable de líneas de marcaje y ensamble.

A continuación se muestran las etapas del desarrollo de un proyecto, desde su asignación, hasta su liberación (Figura 3.1)

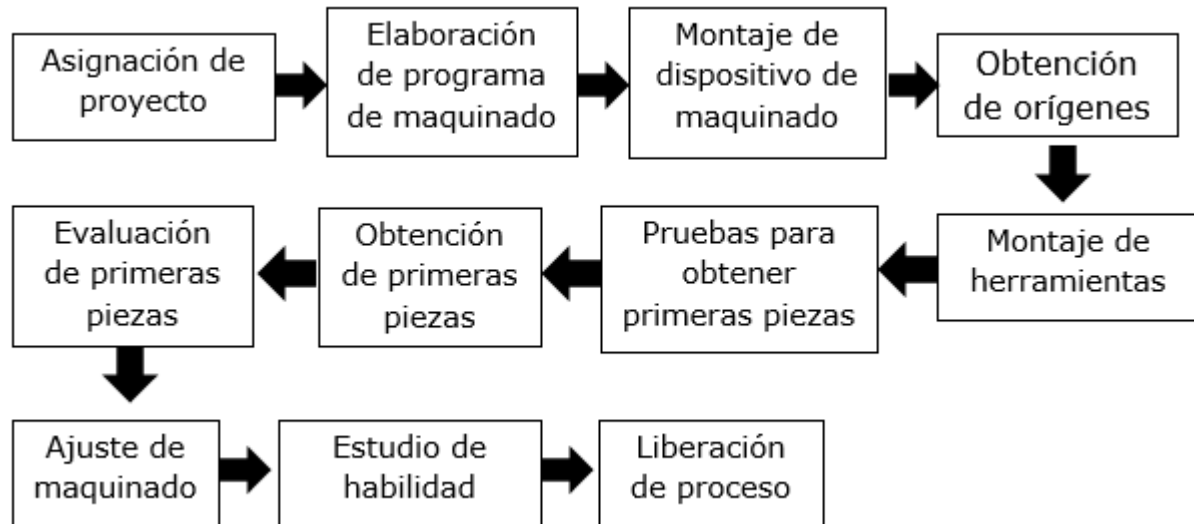


Figura 3.1. Etapas para la puesta en marcha y liberación de un proceso

Como ingeniero de procesos realizo la programación de centros de maquinado, la programación la desarrollo sin un generador de códigos G y M o algún simulador, y todas las correcciones las ejecuto a pie de máquina bajo la norma DIN 62024-25.

Para esto me apoyo en 4 cosas:

- Dibujo de ingeniería: Donde se indica el dimensionamiento de la pieza y sus tolerancias geométricas (DG&T). Los dibujos están regidos por la AFNOR (Association Francaise de Normalisation, Tour Europe, 92-Courbevoi) y el DG&T bajo la norma ASME Y14.5-2009.
- Una pieza de fundición: Es un apoyo visual que me sirve para orientar mis ideas y plasmarlas en el programa.
- Base de datos de la pieza: Es un modelo de la pieza en 3D donde puedo observar las partes que requiero maquinar.
- Modelo en 3D del dispositivo de maquinado: Este modelo lo uso para verificar que con las dimensiones de mis herramientas soy capaz de alcanzar los maquinados que requiero sin colisionar el centro de maquinado.



Según la norma DIN 62024-25 la programación debe de tener la siguiente estructura:

N	G	X	Y	Z	A	F	S	T	D	M
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Donde:

Número de bloque
Instrucción de movimiento
Cota según eje X
Cota según eje Y
Cota según eje Z
Cota según eje de giro (A,U, B)
Velocidad de avance(Feed)
Velocidad de husillo(Speed)
Herramienta(Tool)
Offset de la herramienta (longitud de la hta.)
Funciones auxiliares

Este orden se debe mantener en cada bloque pero no necesariamente se deben presentar todos los ítems, incluso en temas de programación avanzada uso ciclos de maquinado que no se mencionan en la tabla. A continuación se muestra un pequeño ejemplo de un programa (Figura 3.2).

```

N0010 T5 M6

N0020 G0 G511 X50 Y50 Z1 S12000 D1 M3 M7 M8 M63

N0030 G0 Z-1

N0040 G1 X-60 Y-30 F1

N0050 G0 G500 Z100 D0 M9
    
```

Figura 3.2. Programa de maquinado

Para la elaboración de un programa de maquinado suelen utilizarse herramientas de simulación y generadores de códigos (CATIA, NX, MASTER CAM etc.), sin embargo con la metodología de la empresa, realizo los programas en un procesador de textos para posteriormente probarlos y hacer las correcciones necesarias a pie de máquina.

Para comenzar a probar mi programa monto el dispositivo de maquinado correspondiente al proceso, en este dispositivo de maquinado se sujetan las piezas bajo el sistema 3-2-1 (con el cual aseguro que mi pieza está completamente estática).

Posterior al montaje de mi dispositivo y después de verificar que este esté alineado, obtengo los orígenes de mi pieza o piezas, depende del número de operaciones será la cantidad de orígenes que tendré, en los dibujos siempre observamos un sólo origen, sin embargo, en cada uno de los planos encontramos dimensiones referidas a *datums*, por lo que necesitamos un origen en cada plano XY usado en la máquina, ya sea con la pieza a 0°, 90°, 180°, 270° o cualquier ángulo de la pieza que quede orientado a un plano XY de la máquina o según la marca de máquina que se use.

El siguiente paso es montar las herramientas en el almacén de herramientas, las cuales dependen del número de operaciones y es mi responsabilidad usar el menor número de herramientas posibles, esto ayuda a disminuir el tiempo ciclo.

Durante el proceso de pruebas puedo cambiar el modo de sujeción de la herramienta, esto depende del tipo de herramienta a sujetar, longitud de la herramienta, tolerancias y acabados superficiales. Los tipos de sujeción que utilizo son portaherramientas: térmicos, hidráulicos, weldon, compensadores y herramientas monolíticas.

Una vez que he probado mi programación con las herramientas correspondientes al proceso, obtengo las primeras piezas y las entrego al departamento de metrología, ellos me proporcionan un reporte donde aparecen cada una de las dimensiones marcadas en el dibujo, ya sea de partes maquinadas vs fundición, como partes maquinadas vs otras partes maquinadas, el reporte de metrología (Figura 3.3) muestra la siguiente información:

- Número de cota en el dibujo
- Unidad de medición evaluar (posición, distancia, perpendicularidad, etc.)
- Valor real (valor medido)
- Valor nominal
- Tolerancia superior
- Tolerancia inferior
- Desviación entre los límites de las tolerancias y el valor real.

Nombre	Icono	Valor real	Valor nom	Tol. sup	Tol. inf.	Desv	<-- -->
=====Posicion de Valvula M1-M1=====							
Cota 77-1	D	18.011	18.000	0.021	0.000	0.011	
Cota 77-2	D	18.013	18.000	0.021	0.000	0.013	-
Cota 78 -212,219,270-ajuste	Po2D	0.114	0.000	0.200		0.114	--
	X	-0.025	0.000			-0.025	
	Y	-0.051	0.000			-0.051	
Z ajuste valv M1	Z	-0.072	0.000	0.100	-0.100	-0.072	---
Cota 212	X	45.287	45.200			0.087	
Cota 219	Y	-48.508	-48.500			-0.008	
Cota 270	Z	-30.725	-30.700			-0.025	
Cota 79	Perp	0.018	0.000	0.200		0.018	-

Figura 3.3. Fragmento de reporte de medición.

Este reporte me ayuda a revisar las cotas que están fuera de especificación, con una desviación cercana a los límites de las tolerancias o en el mejor caso si las características están cercanas al valor nominal, dependiendo de lo que indique el reporte se determina si se requiere ajustar el proceso.

Cuando los procesos son nuevos y no se conoce exactamente el comportamiento de las herramientas puedo ejercer el cambio de herramientas, el tipo de sujeción de las piezas en el dispositivo de maquinado, los parámetros de maquinado como velocidad del husillo y avance de la herramienta o simplemente un ligero desplazamiento de mis orígenes a los que estoy referenciado.

Una parte fundamental de los procesos de maquinado es que estos se comporten de la misma manera todo el tiempo y para ello me apoyo con el departamento de calidad para hacer un estudio de habilidad del proceso para lo que tengo que logra un Cpk mayor a 1.67 para ello hago una cierta cantidad de corridas y analizamos el comportamiento de cada uno de las características,

principalmente de las características denominada por el cliente como características críticas. Estas características son especificadas por el cliente en el dibujo y son identificadas de distintas maneras, la nomenclatura podría ser especificada por los clientes o pueden identificarse con la notación interna de la compañía ( $\nabla$ , PQC, DR, AQC, etc.)

El estudio de habilidad describe el comportamiento de cada una de las características a lo largo del tiempo, en él se puede analizar la repetibilidad del proceso y su variación, en caso de que no se cumpla con el Cpk requerido hago un análisis de causa raíz (figura 3.5) para tomar acciones que mejoren el comportamiento de las características a lo largo del tiempo.

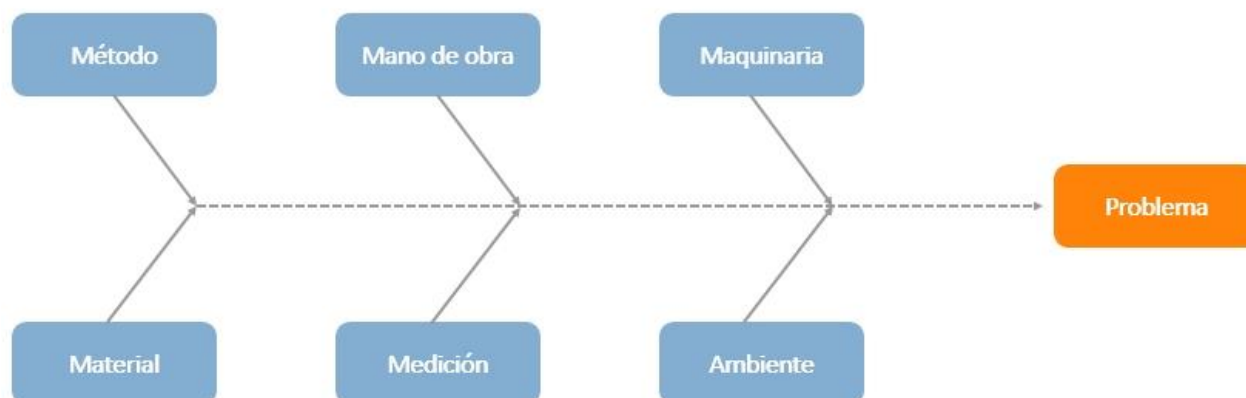


Figura 3.5. Diagrama de causa raíz.

Después de que se realizaron acciones para mejorar el Cpk de las características fuera de especificación que el estudio de habilidad señaló, se realizó otro estudio de habilidad para validar las mejoras, los resultados positivos se podrán identificar con una carita de color verde (Figura 3.4).

Descr.Caract.	Unidad el m	Nominal	LIE	LSE	T <sup>*</sup>	$x_{max}$	$x_{min}$	R	$\bar{x}$	s	Índice	Índice	Evaluación total
Cota 216- CM	$\varnothing$	13,1000	13,1000	13,1500	0,0500	13,1370	13,1280	0,0089	13,134897	0,00174	T <sub>p</sub> 3,37	T <sub>pk</sub> 2,83	😊
Cota 214 -177,171- CM	$\varnothing$	0,0000	0,0000	0,1000	0,1000	0,0901	0,0246	0,0655	0,028997	0,0121	P <sub>p</sub> 2,37	P <sub>pk</sub> 1,83	😊
Cota 215- CM	$\perp$	0,0000	0,0000	0,0300	0,0300	0,0388	0,0002	0,0386	0,001895	0,00884	T <sub>p</sub> 1,60	T <sub>pk</sub> 1,56	😊
Cota 209- CM	$\varnothing$	8,0000	8,0000	8,2000	0,2000	8,0422	8,0416	0,0006	8,041823	0,000174	P <sub>p</sub> 262,47	P <sub>pk</sub> 120,84	😊

Imagen 3.4 Fragmento de estudio de habilidad.

Para la liberación del proceso es necesario que un ingeniero de calidad producto revise los reportes de metrología y de autocontrol, los cuales son las mediciones de ciertas características que no pueden ser evaluadas en la mesa de medición por coordenadas. Estas mediciones son por atributos (correcto o incorrecto) o por variables, es decir, que podemos obtener un valor numérico al medir. De acuerdo a los resultados de los reportes, solicito la liberación del proceso por medio de un formato de liberación del proceso (Figura 3.6) que avala que el proceso es competente para el inicio de producción y debe ser firmado por un ingeniero de calidad.

Línea / Máquina		Área / Celula		Claves de Trabajo: IP= Inicio de Producción FP= Fin de Producción RE= Re-arranque IM= Intervención a la Máquina AJ= Ajuste CH= Cambio de Herramienta				
Fecha	N° de Parte / Descripción de la Pieza	Clave de Trabajo	Hora de Solicitud	Nombre y Firma de Producción	Hora de Liberación	Hora de Rechazo	Nombre y Firma de A. de Calidad	Observaciones

Figura 3.6. Fragmento de formato de liberación de proceso.

Además de lo mencionado anteriormente y para poder entregar el proceso a producción se debe de firmar un Sign-off donde se estipulan una serie de puntos con los que se debe de cumplir, aquí se involucra a cada uno de los miembros del equipo de dicho producto, el cual está formado por:

- Líder de proyecto: Encargado del presupuesto del proyecto y coordinador de este.
- Ingeniero de desarrollo técnico: Es la persona que está en contacto con el cliente para la revisión de la parte técnica (mejoras, cambios de ingeniería...)
- Ingeniero de logística: Se encarga de que la norma de empaque exista.
- Ingeniero de procesos: Montaje de dispositivos y herramientas, programación y puesta en marcha del proceso.
- Ingeniero de calidad: Realiza los estudios de habilidad de proceso y se encarga de diseñar los medios de control para la medición de las características de las piezas.

Estándares de producción vs Cotizado	MANUFACTURA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parámetros de los procesos	MANUFACTURA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habilidad del proceso (preliminar)	CALIDAD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Plantilla / Personal	PRODUCCION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Capacitación del personal	PRODUCCION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Materia prima (PSW aprobado, MDS)	CALIDAD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Componentes (PSW aprobado, MDS)	CALIDAD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aprobación cliente (PSW, CPM, PSO)	CALIDAD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Norma empaque aprobado (externo/interno)	INGEN./LOGISTIC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Revisión de sustancias prohibidas (MDS)	INGENIERIA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Identificación de Aspectos Ambientales	INGEN./AMBIENTAL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Etiqueta de componente (almacén y línea)	LOGIST/PROD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Etiqueta de aceptado (código de barras)	LOGIST/PROD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Etiqueta de envío (master label)	LOGISTICA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Proceso Aprobado: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></b>						
INGENIERIA DE PRODUCTO	ASEG. DE CALIDAD	ING. PROCESO FUNDICION	ING. PROCESO MAQ. / ENS.	LOGISTICA	PRODUCCION	LIDER PROYECTO*

Imagen 3.7. Fragmento de sign off

Parte de mi trabajo mencionado en el *sign-off* es garantizar que el proceso sea seguro, que cumpla con la producción de piezas por hora vendidas al cliente, que las herramientas y dispositivos utilizados sean el material a ultimo nivel estipulado con anterioridad, que la línea cumpla con pokayokes y masters, y que estos tengan ayudas visuales para su uso, que los operadores y ajustadores hayan sido capacitados, cumplir con la documentación(diagrama de flujo, hoja de operación estándar y AMEF de procesos), layout definitivo y todos los periféricos que como equipo creamos necesarios para la producción.

## CAPÍTULO 4.

---

### CASO DE ESTUDIO

Dentro de la compañía he tenido la oportunidad de participar en diferentes proyectos con diferentes propósitos: mejoras de tiempo ciclo, cambios de ingeniería en el producto, liberaciones de nuevas máquinas, liberación de nuevos moldes de inyección, liberación de cambios de nivel en dispositivos y herramientas, reducción de *scrap*, implementación de palpadores, implementación de nuevos ciclos de programación y liberaciones de nuevos procesos.

Este último requiere una gran cantidad de los puntos mencionados en el capítulo 3 para llevarse a cabo, en especial en procesos con especificaciones del cliente muy particulares y tolerancias poco vistas en el grupo. Estas especificaciones, tolerancias y el desarrollo del proceso se mencionaran en los siguientes apartados.

#### 4.1 Información del producto

Pieza a fabricar: Carrier set diff

Cliente: Ensambladora japonesa de autos de gama alta

Países a los que se entrega el producto: Japón y USA

Peso neto del carrier: 3.2440 kg

Peso neto del Housing: 3.4062 kg

Material: Al 380

Volumen anual inicial: 130, 174 pzas/año

Volumen anual final:

Tiempo de vida estimado: 5 años

S.O.P: Mayo 2018

Componentes ensamblados durante el proceso y para la entrega final al cliente (Figura 4.1):

Descripción	Cantidad
Pin dowel	2
Tornillo M10X100	4
Tornillo M10X56	2

Descripción	Cantidad
Tornillo de drene	1
Tubo	1
Arandela	1

Figura 4.1. Componentes usados durante el proceso y componentes usados para la entrega final del producto

El carrier set diff es la carcasa de un diferencial, esta carcasa está formada por 2 piezas (carrier y housing), las cuales son maquinadas individualmente para posteriormente ensamblarse y maquinarse como un set (Figura 4.2).

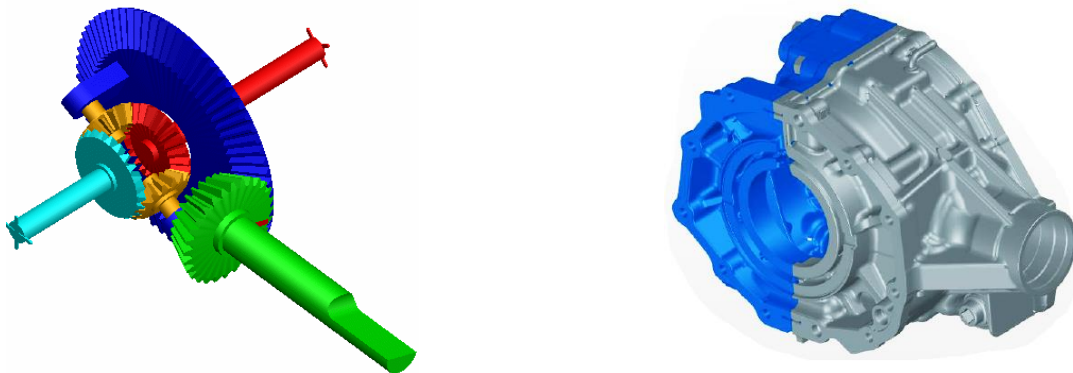


Figura 4.2. Sistema de engranes de diferencial y carrier set diff.

## 4.2 Requerimientos especiales del cliente

La repetibilidad de las características de las piezas en los procesos son requerimientos establecidos por normas como la ISO 9001, estas normas son un estándar del sistema de gestión de calidad del sector automotriz que exige cumplir con un Cp y Cpk mínimo de 1.33 o 1.67 en los procesos, sin embargo uno de los requerimientos importantes establecidos por el cliente es que sin importar que se alcance en el proceso un Cpk mayor a 1.67 se debe cumplir con la medición al 100% de las piezas de ciertas características, estas características tienen tolerancias de  $\pm 0.05$  mm y  $\pm 0.03$  mm (Figura 4.3), las cuales no son fáciles de alcanzar y que deben cumplirse como set y como piezas desensambladas.



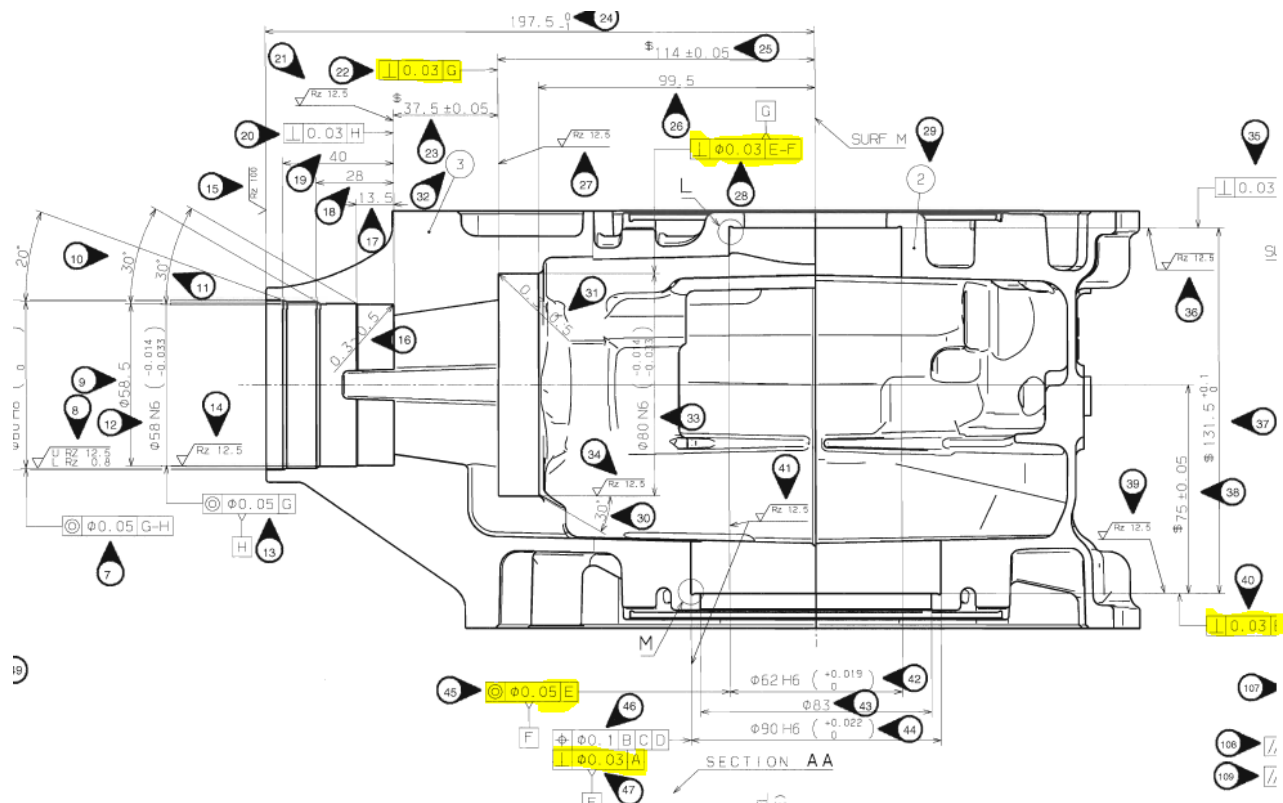


Figura 4.3. Fragmento de dibujo de *carrier set diff*

El *carrier set diff* es una de las piezas más complejas a nivel grupo y está en el top 3 de las piezas con tolerancias más cerradas también a nivel grupo. La complejidad de esta pieza puede mostrarse en la Figura 4.3, en la que están marcadas con amarillo unas de las características que deben medirse en el 100% de las piezas, por ejemplo en la parte superior del dibujo se muestra que se debe cumplir con una perpendicular al menos de 0.03 mm vs el *datum* G y a su vez el *datum* G debe cumplir con perpendicular de al menos 0.03 mm también vs el *datum* E y F.

Estos dos últimos *datums* deben ser concéntricos entre sí al menos 0.05 mm como se muestra en la parte inferior del dibujo, esto quiere decir que por cada porcentaje de error que vaya arrastrando desde el principio, en este caso si las posiciones de los diámetros no se encuentran en sus posiciones nominales me impedirá cumplir con cada una de las tolerancias establecidas.

### 4.3 Información del proceso

El proceso en general tiene distintas facetas según el volumen anual de piezas pues esto define la cantidad de máquinas que se requieren para cumplir con el requerimiento del cliente. Sin importar esto el flujo del proceso es el mismo y este se verá representado a continuación en un diagrama de flujo (Figura 4.4).

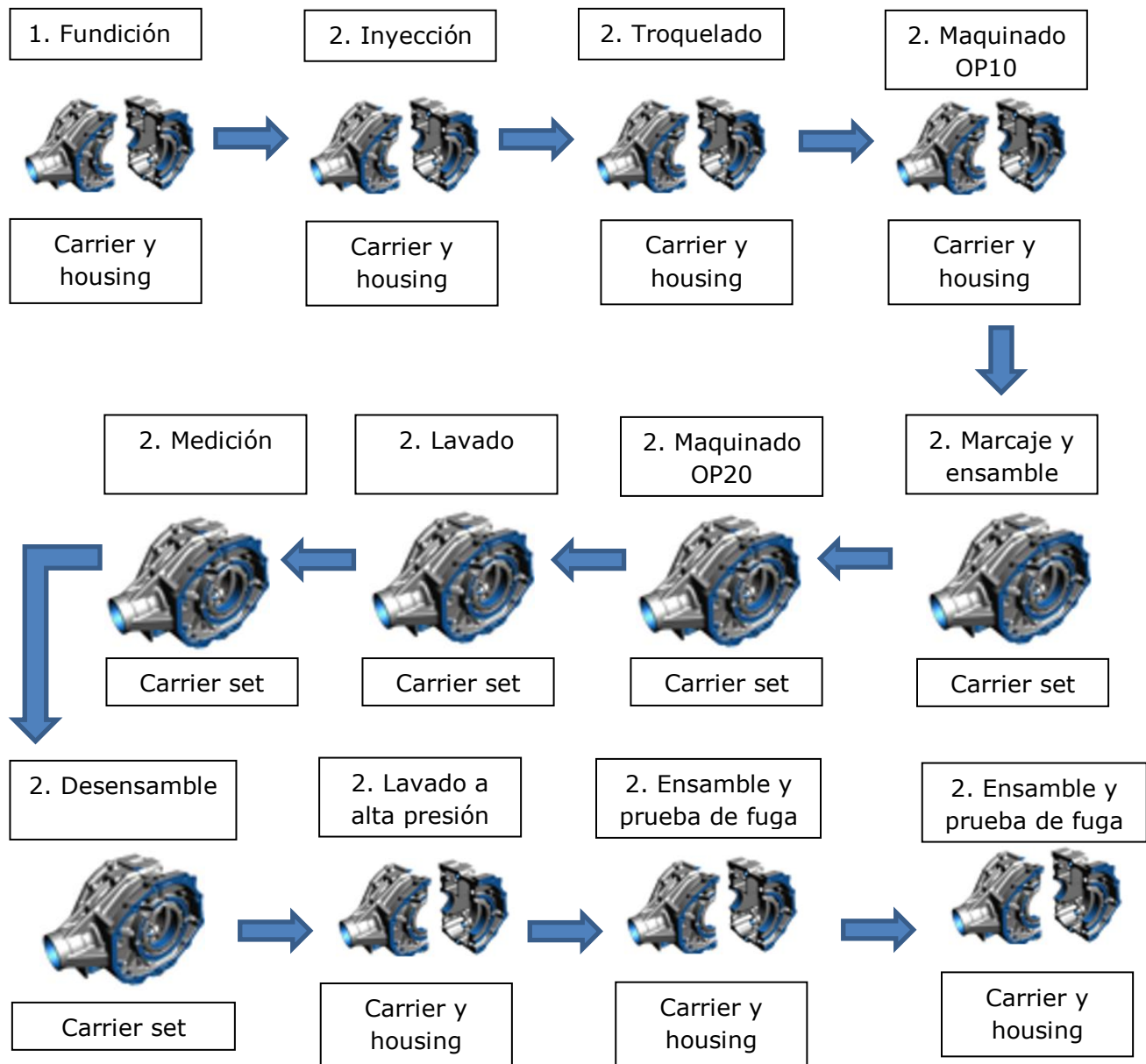


Figura 4.4. Diagrama de flujo de las operaciones del proceso.

El proceso del producto nace en la fundición de aluminio 380 y su inyección en un molde de acero, sin embargo esta parte del proceso no se realiza en la planta en la que trabajo, se lleva a cabo en una planta de nuestra división de aluminio, pero esto no quiere decir que no me involucre en esta parte del proceso pues retroalimento al equipo de ingeniería encargado de la fundición e inyección por porosidades, falta de stock de material, exceso de material de fundición u otro tipo de defectos, incluso solicito modificaciones al molde que puedan beneficiarme en el proceso de maquinado, sin poner en riesgo los requerimientos del cliente.

Posterior a la inyección se usa un proceso de troquelado en la que se cortan los excesos de material por la colada y los botadores.

Una vez que el material es enviado a nuestra planta de maquinado y ensamble pasa por el departamento de inspección recibo, en donde se revisa que el material no contenga defectos de fundición y es colocado en la línea de producción por el departamento de logística.

La primera operación del proceso en nuestra planta consiste en el maquinado del *carrier* y *housing* de manera individual en una máquina de 4 ejes, dos mesas y dos husillos, con un estándar vendido de 41 piezas/hora. En esta parte del proceso estoy directamente involucrado pues en mi posición de ingeniero de procesos de maquinado me encargue de la programación, puesta en marcha, elaboración de primeras piezas, estudio de habilidad, cumplimiento de estándar cotizado, modificación de dispositivos, implementación de un palpador para la compensación de la temperatura y la liberación de proceso.

El marcaje de la pieza es uno de los puntos más importantes del proceso pues las piezas salen siempre en parejas de la primera operación y de esta manera se deben marcar, esto para forzar a que las piezas tengan la misma tendencia de crecimiento o contracción por temperatura que aunque se usa un palpador para compensar el crecimiento del eje Y y Z de la máquina, se puede sufrir una pequeña variación por términos naturales en un proceso de maquinado. A partir de este momento las piezas serán marcadas con un código QR como parejas y no podrán tratarse de otra manera, algunas de las operaciones siguientes leerán este código para verificar que son pareja y de no ser así no se podrá continuar con el proceso, este es un requerimiento obligatorio establecido por el cliente.

Después del marcaje de las piezas se ensamblan, desde el inicio a la entrada a esta línea de ensamble se cuenta con una cámara que detecta que las piezas son pareja. Antes de llegar a esta línea las piezas tienen un número de parte individual (uno para carrier y otro para housing) pero a la salida contarán con un solo número de parte y la pieza se llamará *carrier set diff*, para el ensamble de las piezas se usan 2 *pin dowells* con un ajuste H7 (deslizable) para darle orientación a la pieza, 4 tornillos M10 X 100 y 2 tornillos M10 X 56, en características previamente maquinadas en la primera operación.

La parte más crítica del proceso es la segunda operación, pues aquí se cuenta con las tolerancias más cerradas, como las ya mencionadas en "*Requerimientos especiales del cliente*" de este mismo capítulo (también se pueden observar en la Figura 4.3), pero no solo eso, un error en una de las operaciones anteriores podría provocar que las piezas sean imposibles de posicionar en el dispositivo de maquinado.

Debido a la complejidad de esta operación la empresa tomó la decisión de comprar un *turnkey*, es decir se compró la máquina con el proceso listo, la empresa encargada de fabricar la máquina también se encargó de fabricar el dispositivo de maquinado, seleccionar y comprar las herramientas, de la programación y del maquinado de las primeras piezas, sin embargo esta empresa alemana únicamente ofreció entregar 13 piezas/hr cuando el estándar vendido al cliente era de 16.6 piezas por hora, esto quiere decir que nosotros nos encargaríamos de lograr el estándar cotizado. En esta operación también soy el responsable de cumplir con la calidad y el estándar cotizado.

El primer lavado de la pieza es una parte del proceso que no estaba establecida en el proceso original, incluso el equipo no fue financiado por el cliente, esta parte del proceso fue sugerida por el exceso de rebabas en el interior de la pieza, tomando en cuenta que después de la segunda operación (maquinado) se tiene que medir el 100% de las piezas debemos garantizar una perfecta limpieza de la pieza para mejorar la ida útil de los palpadores de medición y la certeza de que las piezas son medidas correctamente y evitar que la presencia de rebabas no cause interferencia en la medición.

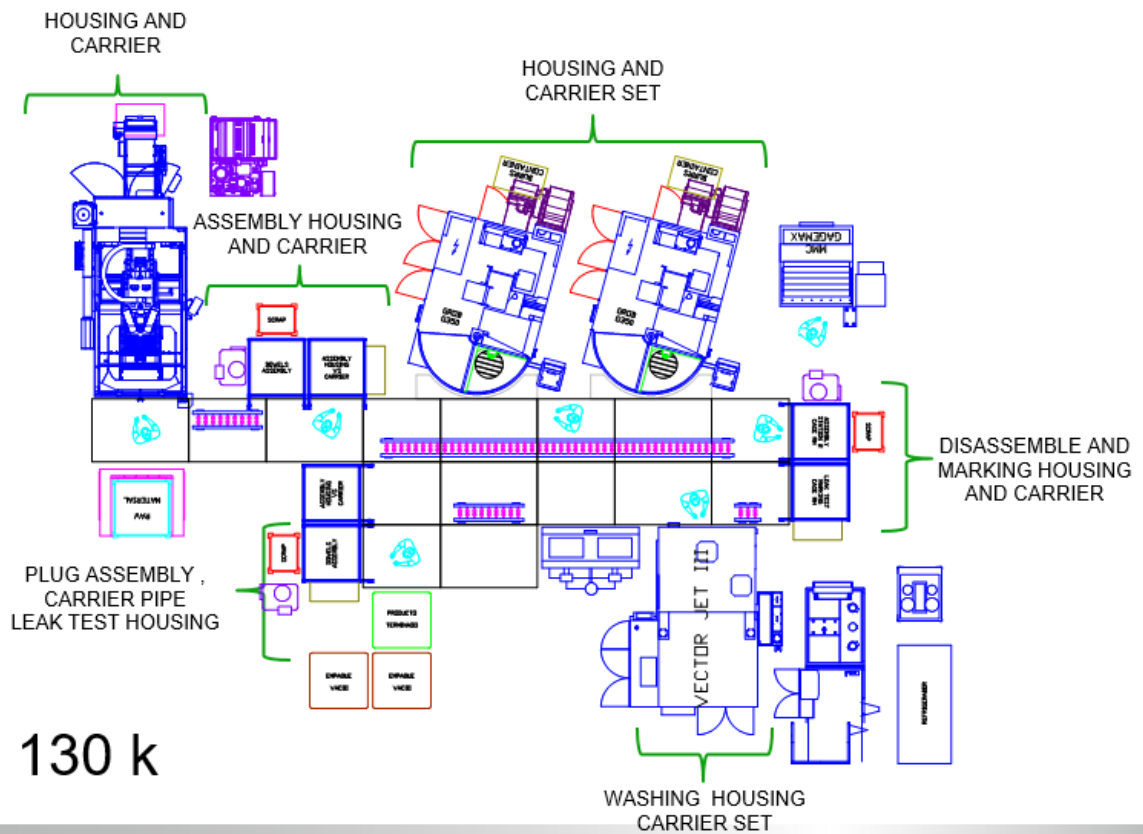
Posterior a la medición tenemos el desensamble de las piezas, en este momento las piezas son tratadas nuevamente como carrier y housing. Una vez desensambladas, se inicia el proceso de lavado o rebabeo a alta presión, esto

es para eliminar los filos vivos, estos normalmente se presentan en las intersecciones de dos maquinados.

El último proceso automático por el que es expuesto el producto es la línea de ensamble y hermeticidad, esta línea cuenta con una cámara que reconoce el código QR que se colocó después de la primera operación para identificar que las piezas son una pareja, después de comprobarse que lo son se inicia el proceso de ensamble de tubo y *plug* en el *carrier* y simultáneamente la prueba de hermeticidad de ambas piezas, al finalizar este proceso el operador toma ambas piezas y las inspecciona visual pero minuciosamente, verificando que la pieza no tenga ningún defecto propio del proceso de maquinado o del proceso de fundición, el operador se basa en un documento conocido como criterios de aceptación, el cual dice que defectos permite la pieza y cuáles no, si la pieza es correcta y no cuenta con algún defecto que ponga en riesgo la calidad de la pieza se marca con un punto de certificación, como señal de que esta pieza ya fue inspeccionada, si la pieza tiene un defecto debe ser codificada, identificando cual ha sido el defecto por el que se desecha el material y debe ser colocada en un contenedor de *scrap*.

Finalmente el operador usa un lector de códigos QR que funciona como contador de piezas y llevar un control a la hora de empacar las piezas, esto se hace para no colocar por error una pieza fuera de especificación o con un defecto dentro del empaque, a cantidad de piezas en el empaque debe coincidir con el número de piezas registradas por el contador del lector de códigos QR.

Para el inicio de producción se requiere cumplir con un volumen anual de 130, 174 piezas solo para el año 2018, a continuación se observa el *layout* del proceso con este volumen requerido (Figura 4.5).



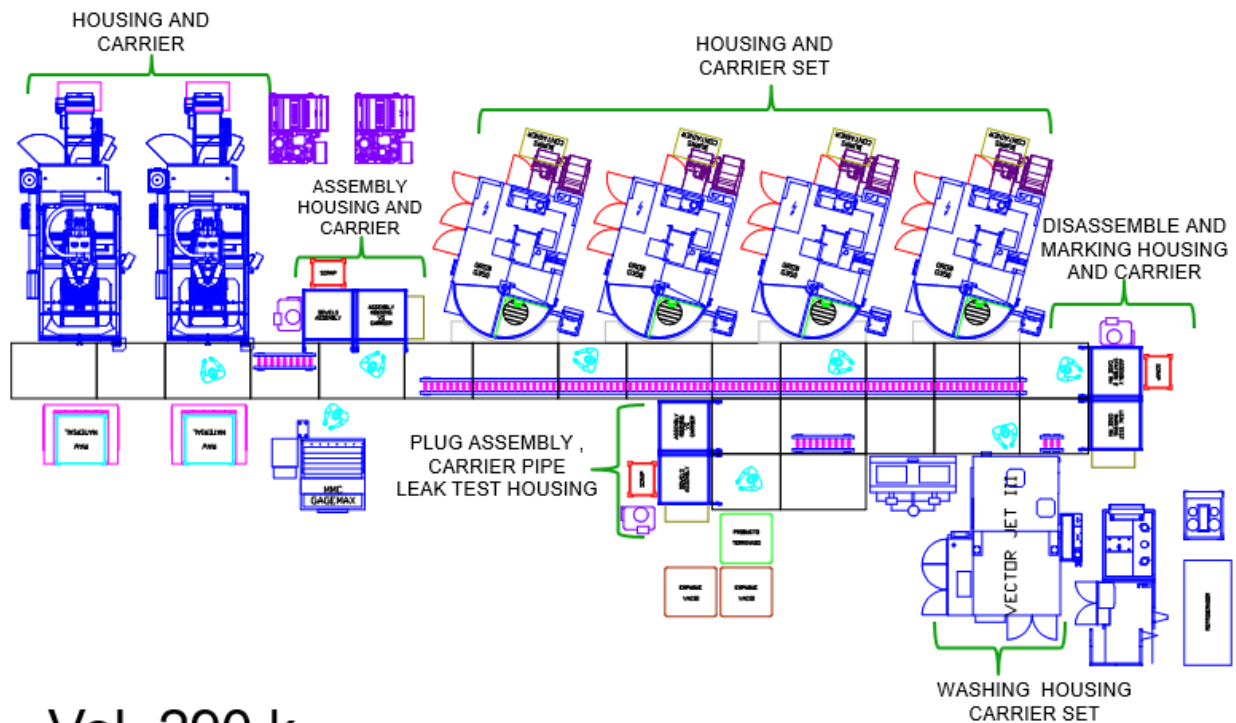
Vol. 130 k

Figura 4.5. Layout de proceso para un volumen anual de 130,000 piezas.

Este layout cuenta con los siguientes equipos y líneas:

- 1 centro de maquinado de 4 ejes, 2 mesas y doble husillo para el maquinado de la primera operación (maquinado de carrier y housing)
- 1 Línea de marcate
- 1 Línea de ensamble
- 1 centro de maquinado de 5 ejes, una sola mesa y un husillo
- 1 lavadora
- 1 máquina de medición por coordenadas
- 1 máquina de desensamble
- 1 lavadora de alta presión
- 1 línea de ensamble y prueba de hermeticidad

En el año 2019 habrá un incremento en el requerimiento del cliente por 290,000 piezas anuales, para lo cual se requiere un incremento en el tamaño de la línea, a continuación se muestra el layout para una producción de 290,000 piezas anuales (Figura 4.6).



Vol. 290 k

Figura 4.6. Layout para un volumen anual de 290,000 al año.

Para este volumen se requiere la siguiente cantidad de máquinas y líneas.

- 2 centros de maquinado de 4 ejes, 2 mesas y doble husillo para el maquinado de la primera operación (maquinado de carrier y housing)
- 1 Línea de marcaje
- 1 Línea de ensamble
- 4 centro de maquinado de 5 ejes, una sola mesa y un husillo para la segunda operación (maquinado del carrier set) diff
- 1 lavadora
- 1 máquina de medición por coordenadas
- 1 máquina de desensamble
- 1 lavadora de alta presión
- 1 línea de ensamble y prueba de hermeticidad

#### 4.4 Proceso de maquinado de primera operación

Durante la distribución de proyectos me fue asignado el maquinado *carrier set diff* en sus dos operaciones, esto fue antes de que las primeras herramientas,

la máquina y los dispositivos de maquinado llegaron a la planta para la puesta en marcha y la fabricación de las primeras piezas.

En el periodo de tiempo en el que el proyecto me fue asignado y llegaban los primeros instrumentales, el ingeniero de desarrollo técnico encargado del proyecto me hizo entrega de los dibujos de ingeniería de las piezas, sus bases de datos y la base de datos de los dispositivos, también recibí la lista de herramientas de corte, sus dibujos y la cotización del proceso de maquinado.

Con esta información comencé a estudiar los dibujos de ingeniería, analizando cuáles eran las características especiales que debía cumplir y las características que debía tomar en cuenta para evitar problemas en el maquinado de la segunda operación, pues en esta operación se maquina la zona de unión del *housing* y *carrier*, además de los barrenos de registro de la segunda operación (barrenos que sirven para colocar la pieza en el dispositivo de maquinado para reducir los grados de libertad de la misma).

Los primeros problemas con los que me encontré fueron las especificaciones con las que se habían comprado las herramientas y el material de estas, la razón es la siguiente: En la figura 4.7 se observan los cortes E-E y F-F de la pieza y en ellos los barrenos de registro, en donde no se cuenta con ninguna tolerancia diametral.

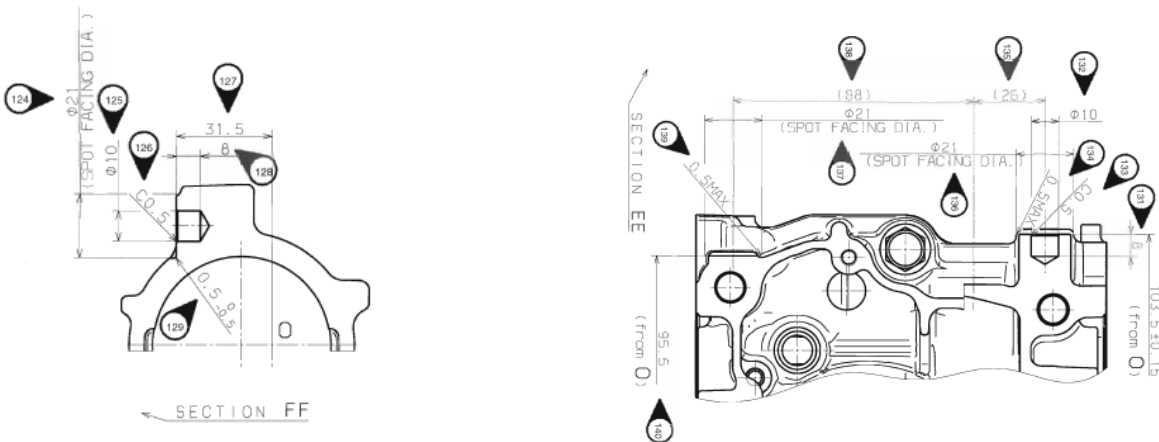


Figura 4.7. Fragmento de dibujo carrier set diff

Bajo estas características se habían comprado brocas de carburo de tungsteno con un diámetro de 10 mm y una tolerancia de  $\pm 0.05$  mm, por otro lado el dispositivo se fabricó con pernos 10h7, esto es con un diámetro de 10 mm con



una tolerancia de  $-0.015$  mm, tomando en cuenta lo anterior si yo hubiera recibido estas herramientas con un diámetro de 9.95 a 9.85 mm iba a ser imposible poder colocar las piezas en el dispositivo de maquinado de segunda operación a pesar de que la especificación de fabricación de la herramienta esta correcta pues está dentro de la tolerancia  $\pm 0.05$  mm

Si tomamos en cuenta que el diámetro de estos barrenos son importantes para la colocación de la pieza en la segunda operación es importante también cuidar que el diámetro se mantenga el mayor tiempo posible dentro de especificación, para esto fue necesario cambiar el material de la herramienta, la herramienta inicialmente era una broca de carburo de tungsteno que además de sufrir un desgaste muy rápido (2 a 3 km de vida útil) no es capaz de lograr la tolerancia ya mencionada anteriormente, para este tipo de características es necesario el uso de rimas, que además de tener una buena durabilidad (más de 10 km de vida útil) es capaz de lograr la tolerancia de ajuste H7, por esta razón solicite de inmediato la compra de herramientas de este tipo.

Por otro lado el maquinado de los asientos donde se apoya la pieza en el dispositivo de la segunda operación (Figura 4.8) fue planeado con una herramienta de careado, la herramienta cumplía con un diámetro específico, sin embargo, en el proceso de careado la herramienta ejerce presión sobre la pieza y esto genera que la altura a maquinar no siempre sea la misma y de esta manera no es posible tener un control de la altura de estas tres alturas, generando errores que pueden proyectarse a lo largo de la pieza, es por eso que tome la decisión de cambiar el proceso de careado por un proceso de fresado, para esto solicite la compra de una fresa de PCD con 4 insertos, ayudándome a tener un proceso mejor controlado y disminuir el tiempo ciclo.

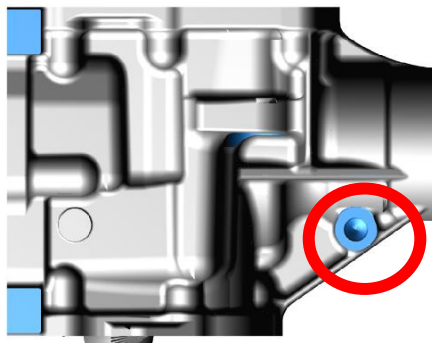


Figura 4.8. Zona de asiento de *carrier* en dispositivo de maquinado de segunda operación.

Posteriormente a estos cambios en las herramientas comencé con la programación, para esto me apoye del dibujo de ingeniería, la lista y los dibujos de las herramientas de corte y el modelo 3D de la pieza y los dispositivos de maquinado, generando un origen en cada uno de los planos XY formados en referencia al centro de maquinado pues a falta de una función en la máquina que me permitiera usar un sólo origen para el maquinado de la pieza no hay otra manera en la que se pueda realizar la programación. La programación la inicié en el escritorio en espera de recibir el centro de maquinado para hacer las correcciones pertinentes a pie de máquina y también las optimizaciones necesarias para lograr el tiempo ciclo vendido al cliente.

Una vez que recibí ambos dispositivos de maquinado, el centro de maquinado y las herramientas de corte provenientes de tres diferentes proveedores alemanes, comencé con la puesta en marcha.

Antes de iniciar con cualquier movimiento relacionado al proceso, verifiqué que ambas mesas del centro de maquinado comparadas contra un punto en común estuvieran en la misma posición entre ellas y en la misma posición contra un dato de máquina virtual, para poder iniciar con la puesta en marcha.

Lo primero que se debe hacer una vez que se cuenta con lo mencionado anteriormente, se colocan los dispositivos de maquinado y se realiza el alineamiento de los mismos. Todos los dispositivos de maquinado cuentan con una cara de alineamiento, una cara perfectamente rectificada que deberá ser paralela al plano XZ de la máquina y de no ser así se debe obligar a que lo sea, este proceso se llama alimento de dispositivo.

Después de alinear ambos dispositivos se verifica su correcto funcionamiento, lo cual implica leer un dibujo hidráulico y neumático, el cual indica la cantidad de líneas hidráulicas y neumáticas con las que se debe contar, regularmente coinciden con la cantidad de líneas que tiene el centro de maquinado, pues es un estándar, aunque hay excepciones. El diagrama hidráulico indica la secuencia de sujeción y la presión a la que deben trabajar las líneas hidráulicas (la línea neumática es de 6 bar por default), con base en esto realicé la programación de la lógica de apriete, donde también se programa el tiempo de retardo de la activación de cada línea y la activación del sensor de aire que sirve para verificar que las piezas fueron colocadas correctamente durante la carga de piezas en el dispositivo durante el proceso de maquinado.

También se verifica que los pre registros no toquen la pieza, la tarea de los pre registro es únicamente para evitar que las piezas sean mal colocadas en el dispositivo y que permitan una y sólo una manera de colocarlas, por otro lado se verifica que los targets (Figura 4.9) lleguen a los asientos del dispositivo. Como ingeniero de procesos es mi obligación verificar en la puesta en marcha que los asientos sean colineales a la zona de sujeción, para evitar que la pieza sufra algún movimiento durante el proceso de maquinado, principalmente la tendencia al giro.

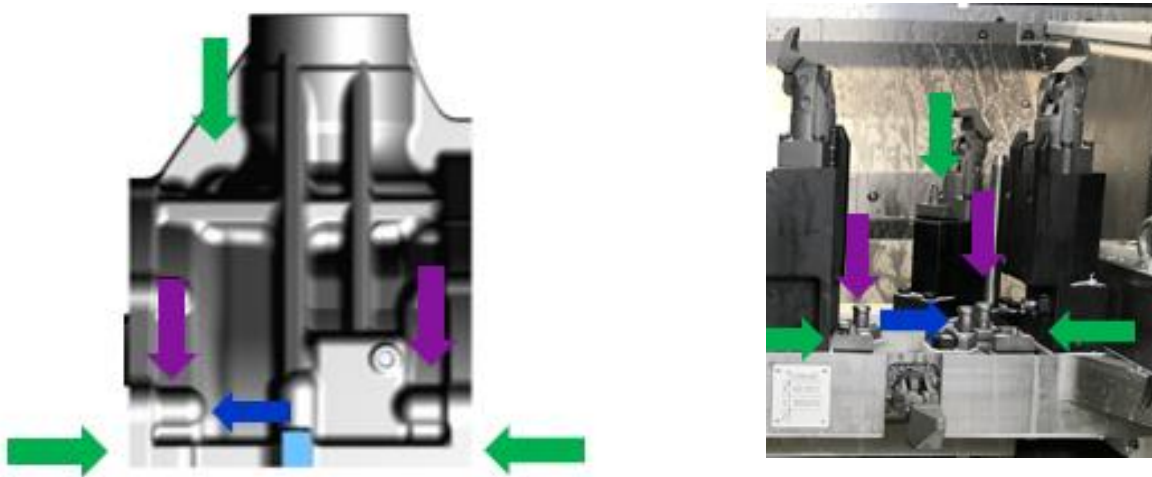


Figura 4.9. Zona de asiento de carrier en dispositivo de maquinado de la primera operación.

El paso siguiente es colocar las herramientas de corte en el centro de maquinado, al ser una máquina de doble husillo (Figura 4.10) se tendrá una pareja de la misma herramienta, estas herramientas deben tener estrictamente el mismo offset, pues ambos husillos de la máquina se comportan como espejos, es por ello que sólo se necesita realizar la programación de un husillo, el segundo husillo realiza exactamente los mismos movimientos que el primero.



Figura 4.10. Centro de maquinado con dos husillos.

Antes de probar cada una de las herramientas que han sido cargadas en la máquina es necesario cargar el programa de maquinado que ha sido previamente iniciado en el escritorio. Después de esto se obtienen los orígenes de maquinado (Figura 4.11), según el dibujo de ingeniería existe sólo un origen, pero con fines de maquinado, si la máquina no cuenta con una función *traori* o con un ciclo 800, los cuales sirven para tener sólo un origen como lo muestra el dibujo de la pieza, es decir, cuando es necesario ajustar el proceso de maquinado contra la fundición, sólo se requiere mover un origen y en automático todos los planos de la pieza serán modificados automáticamente, de no contar con esto es necesario realizar la programación obteniendo un origen por cada plano XY que requiera la pieza con respecto a la máquina y al ajustar la pieza de sebe ajusta cada uno de los planos de la pieza de manera independiente.

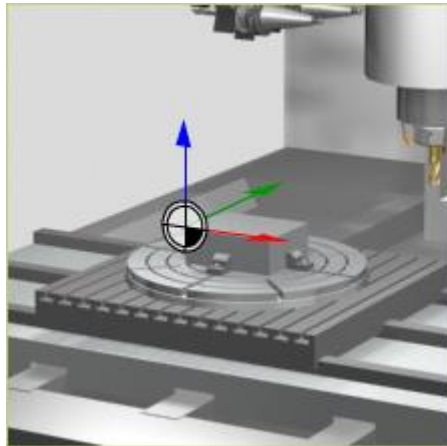


Figura 4.11. Representación gráfica del origen pieza.

Una vez obtenidos los orígenes de maquinado es necesario probar las herramientas que fueron previamente cargadas en la máquina y estos orígenes de maquinado obtenidos, colocando piezas de fundición en el dispositivo de maquinado, es importante que el programa se corra paso a paso pues es necesario verificar que en ningún momento las herramientas de corte puedan colisionar contra el dispositivo, contra la pieza y contra la máquina

Después de verificar que es posible usar el modo automático de la máquina sin colisionar, maquiné las primeras piezas para realizar los primeros ajustes y poner la pieza dentro de especificación. Las piezas son medidas en una mesa de medición por coordenadas, la pieza debe ser colocada en un dispositivo de medición que a su vez descansa en una superficie de mármol donde a su vez es limitada con un sistema neumático para evitar su movimiento durante la medición.

El principio de medición es similar al de maquinado, se toma en cuenta el cero pieza del dibujo de ingeniería y este es medido de manera semiautomática, al iniciar el programa de medición solicita al usuario medir el origen y el alineamiento de la pieza para orientarse y así absorber los errores que existan al colocar la pieza, tomando en cuenta que al no haber entregado piezas antes, el departamento de metrología también tiene que verificar durante la medición de las primeras piezas que ningún palpador colisione con la pieza o con el dispositivo y asegurarse también que la medición siempre sea con las esferas y no con el vástago (Figura 4.12).

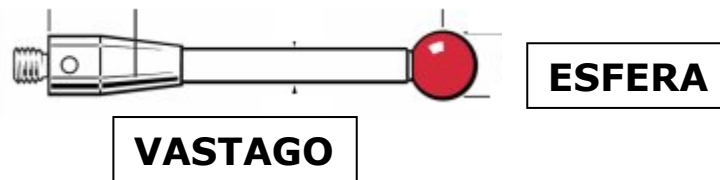


Figura 4.12. Configuración de palpador.

Mientras mis primeras piezas eran medidas y se probaban los programas de medición obtuve el tiempo ciclo de maquinado, normalmente se considera una carga y descarga de piezas de manera estándar de 30 segundos, este tiempo es considerado en la cotización que se entrega al cliente y no es necesario cumplir con este tiempo de manera individual pues el tiempo más importante a cumplir es el tiempo total de maquinado, el cual incluye el tiempo total de herramientas, cambios de herramienta, el tiempo de carga y descarga y tiempo de giro de mesa, restando el 15% aproximadamente del total debido a la fatiga del operador, este tiempo de fatiga está en función de las actividades realizadas por el operador, sus necesidades básicas, como ir al baño y el peso y tamaño de la pieza.

En este caso al ser una máquina que cuenta con dos mesas (Figura 4.13), no se toma en cuenta el tiempo de carga y descarga pues mientras el operador está descargando y cargando piezas en la zona de carga, la máquina esta maquinando en la otra mesa, siendo una de las principales ventajas de este tipo de máquinas. El primer tiempo total de maquinado considerando la fatiga que obtuve fue de 205 segundos lo cual representa 35 *housings* y 35 *carriers*, tomando en cuenta que en una de las mesas se maquinan dos *carriers* al mismo tiempo y en la otra dos *housings*.

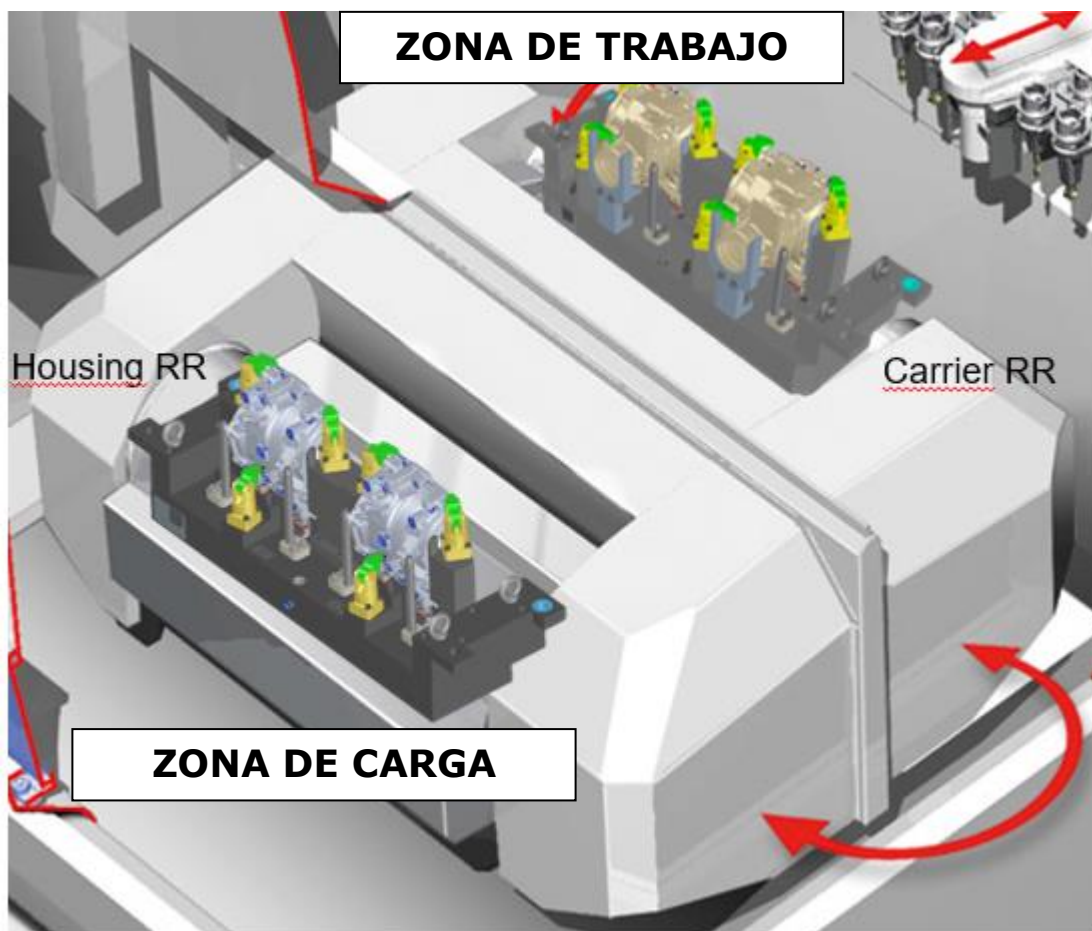


Figura 4.13. Representación gráfica de centro de maquinado con 2 mesas.

### **Mejora de tiempo ciclo**

En la cotización entregada al cliente se tenía como estándar vendido un total de 41 piezas por hora, lo que requería una mejora del tiempo ciclo. Para iniciar la mejora de tiempo ciclo se realizó un análisis de las operaciones de maquinado descritas en la cotización en donde se desglosan las características que proporciona cada herramienta, los parámetros de corte y el tiempo de maquinado de cada una de ellas. Dentro del programa de maquinado coloqué un contador para cada una de las herramientas con la finalidad de realizar una comparación entre el tiempo real maquinado y el tiempo cotizado.

Con los resultados arrojados, logré identificar las herramientas que consumían mayor tiempo del estipulado en la cotización y planteé una estrategia que permitiera reducir el tiempo ciclo e igualarlo al estándar vendido.

Como primer paso, llevé a cabo una evaluación de los movimientos en vacío, que es como se denomina a los movimientos que realiza la herramienta sin efectuar un corte al material, y con base en ellos modifiqué las trayectorias consiguiendo con ello, una reducción de tiempo de 5%, mejorando el tiempo ciclo 10 segundos, ganando con ello 1.9 piezas con respecto al tiempo anterior.

Posteriormente, implementé funciones especiales como M63, que inicia el movimiento del husillo al llegar al 30% de las revoluciones programadas y no espera a que el husillo logre el 100% de las revoluciones programadas para hacerlo. También usé las funciones M=QU(7) y M=QU(8) que sirven para encender la lubricación interna y externa de la máquina sin esperar la respuesta de los sensores de presión.

A su vez, utilicé los códigos G601, G602 y G603 para establecer los rangos de precisión de los movimientos del husillo, ya que con el código G601 obtienes una precisión de 0.020 mm el cual se usa en maquinados de alta precisión como maquinados de barrenos de registro y barrenos con tolerancias de  $\pm 0.050$  mm. También es usado para la profundidad de barrenos. Con el código G602, obtienes una precisión de 0.050 mm, que es el estándar de la máquina, este código lo usé para el maquinado de las cuerdas M6 y M10 debido a que la tolerancia establecida en el dibujo era de 0.150 mm para estas características. Es importante mencionar, que todos los movimientos estaban programados con esta precisión.

Con el código G603, se obtiene una precisión de hasta 0.100 mm, por lo que lo utilicé en movimientos en vacío y el maquinado de fresados, puesto que la precisión para este tipo de movimientos se requiere en la altura pero no en direcciones longitudinales.

Otro de los códigos usados fue el H620, que permitió abrir en el momento deseado la puerta del cambiador de herramientas, ya que anteriormente la máquina debía esperar a que la herramienta llegara a la posición de cambio de herramienta para abrir la puerta y la velocidad del husillo llegara a 0 rpm.

Adicional a esto, reduje a 30% las revoluciones del husillo al terminar el último maquinado de cada una de las herramientas, ya que resulta más rápido llegar de 30% a 0% de las revoluciones del husillo que del 100% al 0%.



Con todas estas implementaciones, logré una reducción del 10% adicional sobre el tiempo anterior mejorado, que se traduce a 175.5 segundos, que representa 41 piezas, según lo estipulado en la cotización.

Sin embargo, durante la optimización del programa de maquinado pude observar que en los cambios de dirección de los movimientos en vacío la máquina perdía velocidad, por lo cual efectué el código G642 para realizar curvas en esos cambios de dirección. Este código es peligroso debido a que el radio de las curvas está en función del avance del husillo, y se puede comprobar de manera visual al colocar el potenciómetro del avance a diferentes porcentajes, así mismo, se bloqueó el avance de la máquina para trabajar siempre al 100%.

Estas últimas modificaciones representaron el 8.84% de reducción del tiempo ciclo, lo que permitió conseguir un estándar de 45 piezas por hora, 4 piezas adicionales a la cantidad cotizada.

Después de conseguir el tiempo total del proceso de maquinado y haber recibido los resultados de las primeras piezas por el departamento de metrología, realicé los primeros ajustes para obtener todas las características dentro de especificación.

Con el reporte de medición y el dibujo de la pieza, hice un análisis de cuáles serían los efectos de esta primera operación de maquinado sobre la segunda. De esta forma pude observar que las dimensiones entre algunos barrenos no tenían una tolerancia especificada (Figura 4.14), esto implicaba hacer uso de la norma DIN 7160 y la especificación que viene en el cuadro informativo del dibujo que indica qué fragmento de la norma debo usar para distintos tipos de maquinado. En este caso, por tratarse de una zona maquinada contra otra zona maquinada, la norma establece que debe tomarse en cuenta una tolerancia de  $\pm 0.15$  mm.

En la Figura 4.14 se pueden observar, en color amarillo, los barrenos de registro de la segunda operación. Dichos barrenos cumplen con las tolerancias mencionadas anteriormente, sin embargo, al tener un ajuste h7 en los pernos de registro del dispositivo y un ajuste H7 en los barrenos de la pieza, aunque se cumpla con la tolerancia de posición, al tener una tolerancia amplia, existen casos en los que no será posible el registro de la pieza en el dispositivo. Es por eso que solicité al Departamento de Metrología reducir la tolerancia de 0.150

mm a 0.050 mm en el reporte para tener un control adecuado de la pieza y asegurar que mientras las piezas se encontraran dentro de esta especificación será posible el registro.

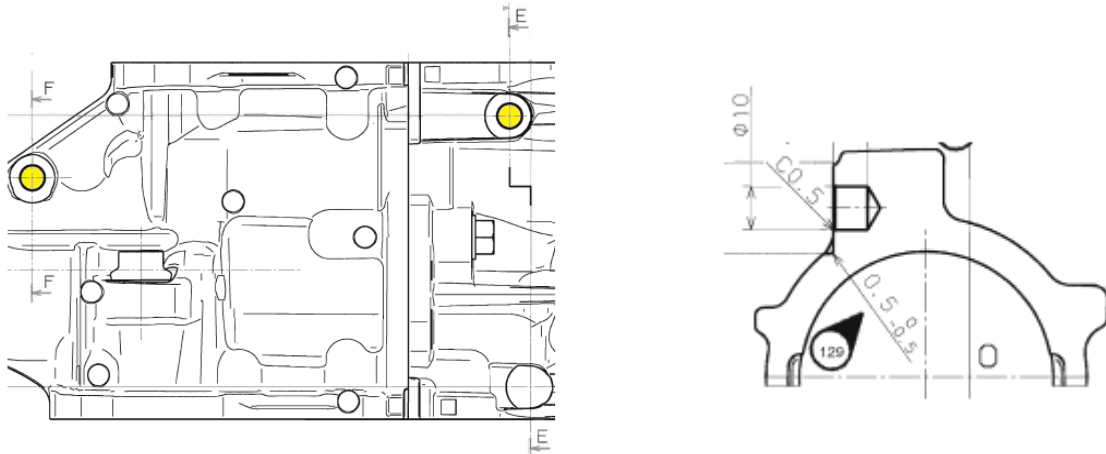


Figura 4.14. Barrenos de registro de carrier set diff.

A su vez, informé de este cambio al Departamento de Ingeniería del Producto y al Departamento de Calidad.

Después de realizar los ajustes necesarios y verificar que el autocontrol se encontrara dentro de los lineamientos correctos, solicité la liberación al ingeniero de calidad responsable del proyecto. Posteriormente, él rectifica la información que se le proporciona, realiza un segundo autocontrol y una vez que se está de acuerdo se procede al corte de la pieza en zonas maquinadas con radios, chaflanes y perfiles para medir con un perfilómetro las zonas que no pueden ser evaluadas en la mesa de medición por coordenadas ni en el autocontrol. De igual forma, se mide la rugosidad en la zona de la pieza solicitadas en el dibujo.

Finalmente, una vez que los procedimientos anteriores recibieron el visto bueno de las partes involucradas, solicité la liberación del proceso para la fabricación de treinta piezas de cada número de parte por cada posición del dispositivo, para así realizar un estudio de habilidad y verificar la repetitividad del mismo.

Después de obtener los resultados del estudio, nos reunimos los líderes de cada departamento involucrados en el proyecto para analizar los resultados y llegamos a la conclusión de que el proceso era hábil, ya que obtuvimos un CPK

superior a 1.67 en cada una de las características se concluyó que el proceso cumplía con lo requerido para comenzar la producción de piezas.

#### **4.5 Proceso de maquinado de segunda operación**

La siguiente parte del proceso es la parte más crítica de todas las operaciones, debido a que se tienen tolerancias sumamente cerradas (0.05 mm y 0.03 mm), incluso, se puede decir, que ésta es una de las tres piezas con tolerancias más cerradas a nivel Grupo y por esta razón la Gerencia de Ingeniería de Procesos tomó la decisión de comprar el proceso como un *TurnKey*, es decir, comprar la máquina con el proceso ya elaborado (programa, selección y compra de herramientas, diseño de dispositivo y puesta en marcha). Sin embargo, nuestro proveedor de maquinaria cotizó únicamente trece piezas de las dieciséis punto seis piezas por hora vendidas al cliente, por lo que era mi responsabilidad lograr alcanzar el estándar vendido por el Grupo.

Comencé a involucrarme en la segunda operación cuando el Departamento de Prototipos requirió piezas para enviar al cliente, lo que me llevó a entregar piezas maquinadas de primera operación a este departamento.

Posteriormente, se entregaron piezas de primera operación ensambladas con dos bujes de diámetro doce H7, dos tornillos M10 por 56, y cuatro tornillos M10 por 100 con un torque de 45 N•m a nuestro proveedor de maquinaria para que ellos a su vez lograran realizar los ajustes necesarios.

Una vez que el proceso estuvo listo por parte del proveedor, asistí a sus instalaciones en Alemania para llevar a cabo la liberación del proceso.

El primer día en sus instalaciones, revisé visualmente una pieza maquinada para verificar que la pieza contara con los acabados necesarios que solicita el dibujo y que los acabados superficiales no tuvieran defectos propios del maquinado. Después de llevar a cabo esta inspección revisé un reporte dimensional y el protocolo de medición de profundidad de cuerdas, barrenos, rugosidades y perfiles, encontrando algunos defectos que solicité modificar e incluso, añadir algunos maquinados.

El segundo día revisé que las modificaciones solicitadas estuvieran en orden para iniciar el maquinado de treinta piezas para hacer el estudio de habilidad. Durante este proceso tomé el tiempo ciclo de maquinado, incluyendo la carga y la descarga de la pieza. El tiempo no coincidía con lo que se había solicitado

al proveedor inicialmente (13 piezas/hr) debido a los maquinados que fueron añadidos por el Grupo y el cliente durante el desarrollo del proceso, entregando sólo 11 piezas por hora.

El tercer día se revisaron los resultados del estudio de habilidad encontrando un problema en la redondez de dos de los diámetros más críticos de la pieza (diámetro de 62 y diámetro de 90, Figura 4.15.)

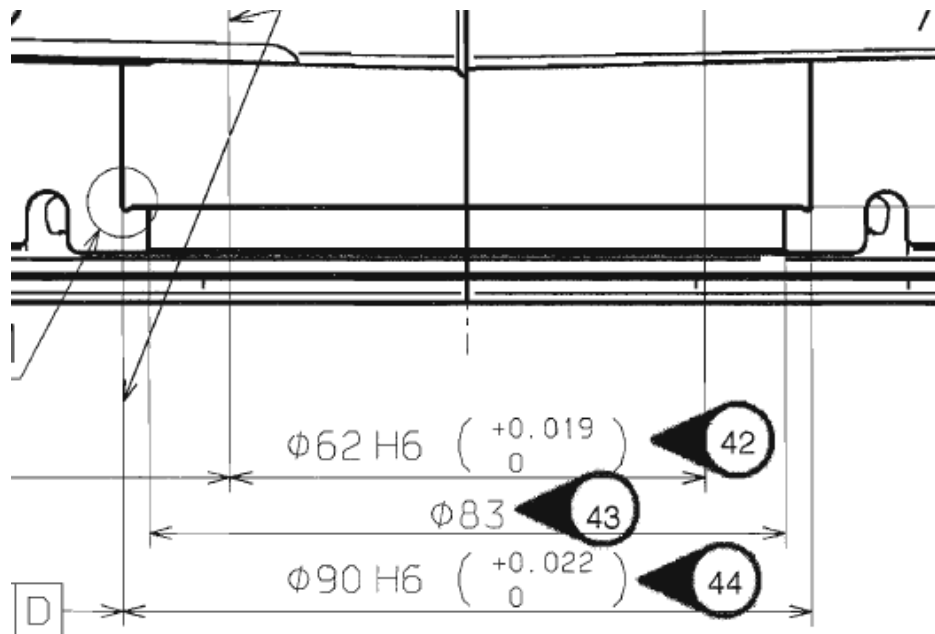


Figura 4.15. Diámetro de 62H6 y 90H6 de carrier set diff.

La redondez de dichos diámetros era de 0.015 mm, es decir, más de la mitad de la tolerancia diametral, pues ambas tolerancias —unilaterales— son de +0.019 mm y +0.022 mm, haciendo imposible el ensamble de los componentes en esa zona. La redondez es una tolerancia geométrica que no suele estar especificada en los dibujos de ingeniería, pero reportarla ayuda a tener un control del diámetro y asegurar la integridad del ensamble de componentes, de manera interna en el grupo para garantizar el ensamble de los componentes definimos que la tolerancia de redondez debe ser la mitad de la tolerancia diametral de los diámetros.

Realicé mediciones para determinar la causa raíz de la redondez de 0.015 mm y encontré que mientras la pieza estaba sujeta en el dispositivo de maquinado la redondez de ambos barrenos era de 0.005 mm y esta aumentaba una vez que el dispositivo libera la pieza, por lo que llegué a la conclusión de que el

dispositivo de maquinado deformaba la pieza. Después de encontrar estos resultados y demostrar a nuestros proveedores la causa raíz del problema les solicité la modificación del sistema de sujeción para resolver el problema, por lo que no firme la liberación del proceso ni de la máquina hasta tener una solución al problema.

El día cuatro el proveedor me propuso y mostro la modificación de su sistema de sujeción y el resultado de una pieza medida, solicite la fabricación y la medición de 5 piezas para comprobar que la modificación funcionaba y así fue, al revisar los resultados pude observar que la redondez era de 0.005mm y con esto garantizaba el ensamble de los componentes en la pieza.

Finalmente accedí a firmar la liberación de la máquina (Figura 4.16) y el proceso estando de acuerdo con la mayoría de los puntos y dejando la liberación condicionada a cerrar algunos puntos que dejamos abiertos en común acuerdo con el proveedor que no comprometían la calidad de la pieza.



Figura 4.16. Centro de maquinado de 5 ejes para maquinado de la segunda operación.

Después de firmar la liberación de la máquina, el centro de maquinado fue enviado a nuestras instalaciones en la ciudad de México, en el momento en que la máquina llegó a nuestras instalaciones el departamento de mantenimiento realizó una serie de mediciones para verificar que la máquina estaba en óptimas condiciones y no había sufrido algún deterioro durante su traslado.

En conjunto con el equipo de mantenimiento revise los resultados de la medición de la geometría de la máquina que consiste en la medición de los ejes coordenados, por medio de un protocolo de medición proporcionado por el proveedor. Cabe mencionar que la máquina es una máquina de 5 ejes, lo cual quiere decir que además de usar los ejes coordenados X, Y y Z es posible mover un eje alrededor del eje X, conocido como eje A y un eje que te permite girar alrededor del eje Y, llamado B, solo para este modelo de máquina, algunas máquinas nombran de una manera distinta los ejes adicionales a los ejes convencionales X, Y y Z, además de que no siempre permiten el giro de los mismo ejes coordenados.

Los resultados indicaban que la máquina estaba en condiciones para trabajar y de esta manera recibí la máquina para iniciar con el proceso de maquinado.

Como primer paso coloqué el dispositivo de maquinado en la bancada (Figura 4.17) de la máquina, la cual es una superficie rectificada, además de contar con 3 pernos con un ajuste h7 para tener siempre la misma posición del dispositivo si se requiere quitar de la máquina, en este caso por temas de medición. Ambas zonas de unión (dispositivo y bancada de la máquina) son superficies que deben ser completamente limpias y libres de golpes.

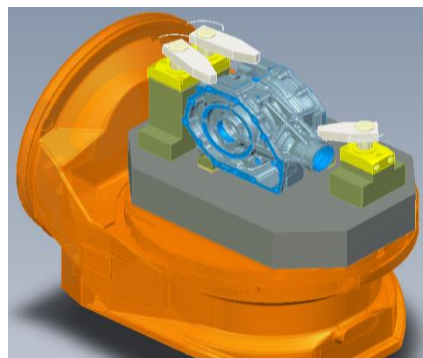


Figura 4.17. Bancada de centro de maquinado y dispositivo de maquinado para la segunda operación.

Posteriormente se revisó que la presión del distribuidor hidráulico de la máquina contara con la presión indicada en el diagrama hidráulico y neumático que nos proporciona el proveedor de dispositivos, en este caso fue el mismo proveedor de la máquina, de esta manera también inicie la revisión de la sujeción de la pieza. En este tipo de máquinas es necesario crear un subprograma en donde se programa la lógica de apriete (pasos de sujeción de la pieza por medio del sistema hidráulico).

El siguiente paso a seguir fue la colocación de herramientas en el almacén de herramientas de la máquina, el cual tiene una capacidad de almacenamiento de hasta 60 herramientas, este tiene la ventaja de ser un almacén de tipo cadena horizontal de última generación de máquinas, lo cual ayuda a tener un cambio de herramientas de entre 2 y 3 segundos.

Además de colocar las herramientas en el almacén, se deben colocar los datos de las herramientas en la máquina (Figura 4.18), en donde se incluye el tipo de herramienta que se usa (broca, formador, rima, fresa, etc), su offset, el número de filos y su radio.

25		2017	1	1	244.993	39.989
		2017	1	2	140.034	30.000

Figura 4.18. Display de centro de maquinado que muestra offset de herramienta 2017.

Después de tener el dispositivo y las herramientas dentro de la máquina, realicé el maquinado de las primeras piezas para iniciar con los protocolos de medición. Al maquinar la primer pieza pude percatarme que el protocolo de medición mostraba todas las características dentro de especificación pues como lo comente anteriormente, el dispositivo cuenta con tres pernos de registro, los cuales ayudan a que la posición del dispositivo sea siempre la misma.

El único reto hasta este momento era alcanzar el tiempo ciclo maquinado vendido de 16.6 piezas por hora, representando 216.86 segundos por pieza de los cuales 30 segundos son de carga y descarga de la pieza, debido al tipo de máquina, únicamente se cuenta con una mesa, por lo que es necesario tomar en cuenta el tiempo de carga y descarga. Tomando en cuenta que el cliente había alcanzado únicamente 11 piezas por hora (327.3 segundos por pieza

incluyendo la carga y descarga) fue necesario hacer una mejora en el tiempo ciclo de 110.5 segundo (34% del tiempo obtenido por el proveedor.)

El análisis que hice para la mejora de tiempo ciclo de la segunda operación fue diferente al análisis realizado en la primera operación debido a que la máquina en general tenía condiciones diferentes.

Como primer paso inicié comparando la cotización que entregamos a nuestro cliente contra el tiempo ciclo real de cada herramienta obtenido por el proveedor. La primera oportunidad de mejora que encontré fue el hecho de que nuestro proveedor usaba una cantidad mayor de herramientas que las que nosotros habíamos cotizado, el proveedor usaba herramientas repetidas para hacer pre cortes y acabados.

Antes de tomar la decisión de eliminar las herramientas de pre corte y ahorrar tiempo en cambios de herramienta y pre cortes realice la medición de piezas como fundición y piezas maquinadas para conocer el stock de material, en donde encontré que el stock de material era hasta de 0.7 mm, un stock de material que normalmente se usa en pieza de fundición a presión. Después de verificar esta información elimine 2 herramientas que hacían el pre corte del fresado de 4 zonas de la pieza para usar únicamente las herramientas de acabado, posteriormente medí la rugosidad de la pieza para verificar que no ponía en riesgo la calidad del producto y de esta manera validar la mejora en el tiempo ciclo.

Esta máquina de proveedor Alemán tiene la peculiaridad de tener 2 pinzas para realizar el cambio de herramientas más rápido y funciona de la siguiente manera: mientras una herramienta está en el husillo en el proceso de maquinado, se debe indicar en el programa un pre llamado de la herramienta siguiente, en ese momento una de las pinzas de carga toma la herramienta de la cadena, la limpia y la pone en espera, cuando la herramienta que está en proceso finaliza su maquinado, la pinza (Figura 4.19) que está libre toma la herramienta del husillo y la herramienta que está cargada en la segunda pinza es colocada en el husillo, esta operación debe tardar máximo 3 segundos, sin embargo puede tardar más si el llamado de la herramienta siguiente no es colocado en un lugar adecuado o el tiempo de maquinado de una herramienta es menor al tiempo de cambio de herramienta más el tiempo que tarda la cadena en encontrar la herramienta siguiente, que es de alrededor de 5 segundos en total.



De acuerdo a lo anterior la siguiente acción tomada fue tomar el tiempo de cambio de herramienta de todas las operaciones y con base en los resultados hice modificaciones en el programa de maquinado para lograr tener un tiempo de cambio de herramientas en cada operación de al menos 3 segundos

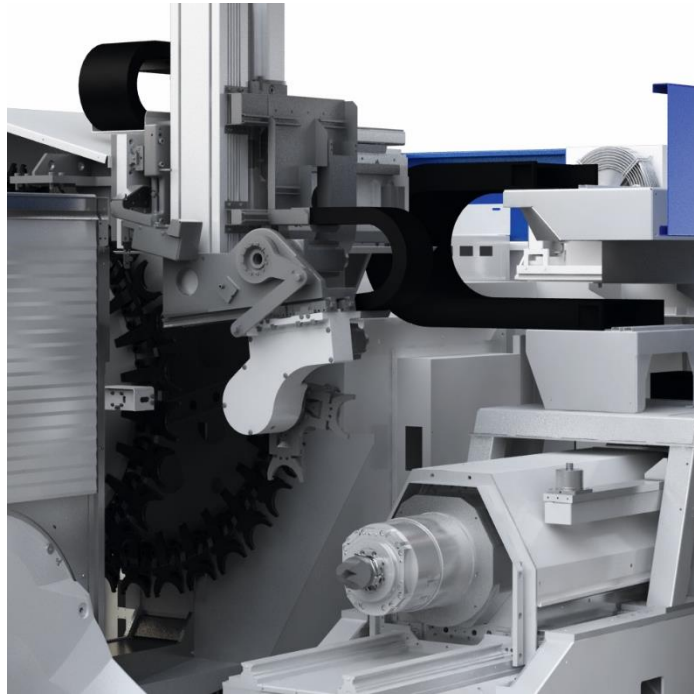


Figura 4.19. Cambiador de herramientas y husillo de centro de maquinado.

Después de esta última modificación recurrí al resultado de tiempo ciclo por herramienta y analice los movimientos de las herramientas que representaban un tiempo mayor, cabe mencionar que todos los tiempos tomados hasta ese momento superaban los tiempos que entregamos a nuestro cliente final.

Los movimientos no solo fueron analizados para las herramientas que representaban el mayor tiempo, pues después de observar que todos los tiempos superaban los tiempos de nuestra cotización tuve que realizar un análisis de movimientos en cada una de las herramientas, modificando los movimientos en vacío (sin desprendimiento de viruta), y realizar las mismas mejoras que hice en la programación de la primera operación para así lograr un tiempo ciclo de 217 segundos (16.6 piezas por hora), el total de piezas vendidas al cliente.

## CONCLUSIÓN.

---

Ser miembro activo de esta industria exige el conocimiento de métodos de maquinado, herramientas de corte, programación CNC, tolerancias geométricas e interpretación de dibujos de ingeniería, ya que son indispensables para desarrollar eficientemente los procesos de maquinado que cumplan con las estrictas normas que rigen este sector.

Como ingeniero de proceso, se requieren, además de los conocimientos técnicos antes mencionados una sensibilización para el diseño y desarrollo de cada producto, esto quiere decir, se debe tomar en cuenta que cada proceso estará en contacto directo con personal humano, lo que implica contemplar que cada etapa permita resguardar la integridad física de cada uno de los involucrados, respetando normas de seguridad y ergonomía.

Gracias a lo anterior logré la liberación del proceso de maquinado de la primera operación con un tiempo ciclo mejor a lo cotizado y vendido a nuestro cliente, logre la reducción de herramientas de corte en la primera y segunda operación, la liberación de un centro de maquinado en el extranjero y en nuestra planta para la segunda operación de maquinado, con el tiempo ciclo vendido a nuestro cliente y cumplí con todos los estándares de calidad establecidos por las normas que rigen el sistema de calidad del sector automotriz, así como los establecidos por el propio cliente.

Las herramientas brindadas por la universidad me permitieron comprender el proceso a partir de cada una de sus etapas: materias como Geometría analítica, Dibujo mecánico e industrial y Diseño asistido por computadora me brindaron las bases para desarrollar de forma satisfactoria las tareas que me fueron asignadas en el transcurso de este proyecto.

Sin embargo, considero que los temas impartidos podrían abarcar temas que fueran más allá de la teoría. Materias como Procesos de manufactura, que se imparte a las carreras de mecatrónica e industrial serían de utilidad para complementar los conocimientos teóricos que se imparten en las materias anteriormente mencionadas. Así mismo, la exigencia requerida por parte del sector automotriz en cuestión de dibujos de ingeniería sobrepasa por mucho a la que se imparte en las aulas. Por último, el conocimiento que se brinda en las

materias sobre herramientas de corte y sus materiales, es nulo, un factor determinante al momento de desarrollar procesos de esta magnitud.

De esta forma, encuentro varias oportunidades para hacer crecer nuestro plan de estudios y de esta forma contribuir a la formación de ingenieros cada vez más preparados para el mundo laboral.