



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**“PROCESO DE MAQUINADO COMPLETO DE MUÑÓN DE
SUSPENSIÓN TRASERO DE CAMIONETA CHRYSLER JOURNEY
EN EL CENTRO DE MAQUINADO HORIZONTAL CON CON-
TROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO MAKINO A61”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTAN:

JOEL ROJO RAMIREZ

JORGE CESAR LEDEZMA ZARZA

ASESOR: ING. ALFREDO ALDAZ BENITEZ





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



INDICE

JUSTIFICACIÓN	1
OBJETIVOS	3
INTRODUCCIÓN	4

CAPITULO I

EL CENTROS DE MAQUINADO , TIPOS Y CARACTERISTICAS.....	7
I.1.Concepto de maquinas-herramienta.....	7
I.2 Torno CNC.....	8
I.2.1 Tipos de torno.....	9
I.2.1.1 Tornos verticales.....	9
I.2.1.2 Tornos de bancada plana.....	10
I.2.1.3 Tornos de bancada inclinada.....	10
I.2.1.4 Tornos de cabezal móvil o suizo.....	11
I.2.1.5 Tornos automático de husillos multiples.....	12
I.3 Centros de maquinado.....	12
I.3.1Tipos de centros de maquinado.....	14
I.3.1.1Centros de maquinado de husillo vertical.....	14
I.3.1.2 Centros de maquinado de husillo horizontal.....	15
I.3.2 Características de los centros de maquinado.....	15
I.4 Componentes y estructura de los centros de maquinado.....	16
I.5Ventajas y desventajas de los centros de maquinado.....	17
I.6 Sistemas de Programación CAD/CAM.....	18
I.7 Características del Centro de Maquinado CNC.....	20
I.8. Selección y aplicaciones.....	22
I.9. Ventajas de los centros de mecanizado.....	23

CAPITULO II

CENTRO DE MAQUINADO HORIZONTAL CNC MAKINO A61.....	25
II.1 Esquema del Centro de maquinado Horizontal Makino A61.....	25
II.1.1 Descripción general de la maquina.....	26
II.1.2 Configuración de Ejes.....	26
II.1.3 Componentes primarios de la maquina.....	27
II.2 Especificaciones básicas de la máquina modelo a61.....	31
II.3 Mecanismos de accionamiento para la alimentación de los ejes.....	31
II.3.1 Mecanismos de accionamiento.....	31
II.3.2 Configuración de ejes.....	32
II.3.2.1 Acoplamiento del motor.....	34
II.3.3 Panel MDI.....	35
II.4 Tipos de Cargadores de herramienta.....	36
II.4.1 Programación de la velocidad del brazo ATC para el cambio de herramienta.....	37
II.4.2 Limitaciones de almacenamiento de herramienta.....	38
II.4.3 Limitaciones en la forma de la herramienta.....	39
II.4.4 Diseño de la herramienta.....	40
II.5 Restricciones de la pieza de trabajo.....	41
II.6 Panel de operación APC.....	42
II.6.1 Cambio de pallet.....	43

**CAPITULO III**

Descripción de la línea de producción.....	45
III.1 Calidad de las materias primas y componentes.....	45
III.1.1 Pruebas de dureza.....	47
III.1.2 Certificación de los componentes de ensamble.....	55
III.2 Distribución de la línea (Layout) y flujo de material.....	57
III.3 Diagrama de flujo del proceso.....	58
III.4 Dispositivos de sujeción y maquinado de la pieza.....	58

CAPITULO IV**TOLERANCIAS GEOMETRICAS,FUNDAMENTOS E INTERPRETACIÓN DEL PLANO DE LA PIEZA.....**

IV.1 Importancia del sistema de Tolerancias Geométricas en la industria automotriz.....	64
IV.2 ¿Qué es GD&T?.....	65
IV.3 Antecedentes de la implementación de las Tolerancias Geométricas.....	65
IV.4 ¿Por qué usar el GD&T?.....	66
IV.5 Ventajas de GD&T.....	67
IV.6 Fundamentos básicos.....	68
IV.6.1 Sistema de referencia espacial.....	68
IV.6.2 Datums y Datums de referencia.....	70
IV.6.3 Datums objetivo (Alineación de la pieza como material a granel).....	72
IV.6.4 Marco control.....	74
IV.6.5 Modificadores de condiciones de material.....	76
IV.6.6 Tolerancias Geométricas.....	78
IV.6.6.1 Tolerancias de forma.....	79
IV.6.6.1.1 Rectitud y planitud.....	79
IV.6.6.1.2 Redondez y cilindricidad.....	81
IV.6.6.1.3 Tolerancia de perfil de una línea y de una superficie.....	83
IV.6.6.2 Tolerancias de orientación.....	84
IV.6.6.2.1 Tolerancia de angularidad.....	84
IV.6.6.2.2 Tolerancia de perpendicularidad y paralelismo.....	85
IV.6.6.3 Tolerancias de localización (Situación).....	88
IV.6.6.3.1 Tolerancias de posición.....	88
IV.6.6.3.2 Concentricidad y simetría.....	89
IV.6.6.4 Alabeo - Oscilación.....	92
IV.6.6.4.1 Tolerancias de alabeo radial y alabeo axial.....	92
IV.6.7 Descripción del plano de maquinado.....	95

CONCLUSIONES.....	111
--------------------------	------------

BIBLIOGRAFIA.....	112
--------------------------	------------



JUSTIFICACIÓN

En la actualidad los sistemas de manufactura presentes en las industrias del área metal-mecánica deben de ser capaces de procesar la materia prima (lingotes, moldeo, fundición, forja, etcétera), de manera más rápida y precisa, la transformación de esta materia prima requiere de diversas operaciones para convertirse en un producto terminado, de tal manera que para lograr un sistema de producción eficiente y eficaz, se requiere de la incorporación de la máquina-herramienta al sistema.

Las tendencias de las políticas económicas mundiales de mercado han favorecido la libre competencia y han fomentado la necesidad de adecuar los procesos y tecnologías para lograr satisfacer y superar las expectativas de un mercado que exige productos de alta calidad y bajo costo.

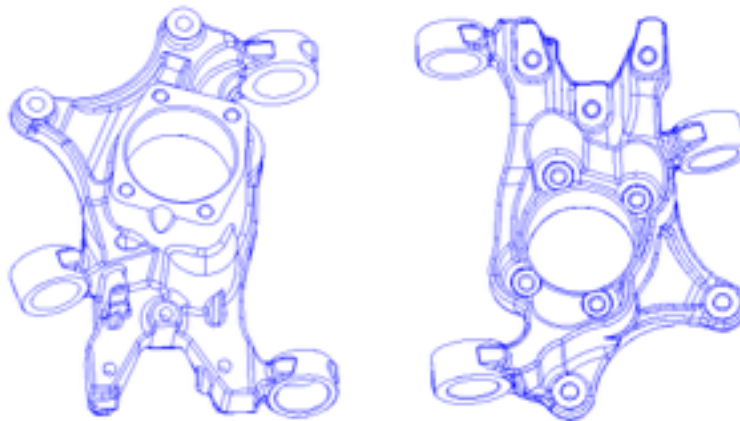
Como resultado de estos cambios, las nuevas tecnologías de automatización industriales se enfocan en incrementar la productividad, rapidez, precisión y flexibilidad de los procesos de la transformación de la materia prima. Uno de los avances más destacados actualmente son las máquinas-herramientas de control numérico computarizado o por sus siglas CNC, descrita en uno de los capítulos de esta tesis, la cual es sin duda una de las importantes innovaciones de los sistemas de manufactura que ha revolucionado la fabricación de todo tipo de objetos, tanto en la industria metalúrgica como en muchos otros ámbitos productivos.

De tal manera que en este tema de tesis se justificara la importancia del CNC en la industria a través de la explicación del uso de este equipo, el papel que juega en una celda de manufactura y el proceso de fabricación de un componente automotriz.

El tema de estudio se baso en la línea de producción JC-49 REAR KNUCKLE, donde se emplea el Centro de Maquinado Horizontal (HMC por sus siglas en ingles), marca MAKINO modelo A61 con CNC, de tecnología japonesa de última generación, para la producción del muñón trasero para la camioneta CHRYSLER JOURNEY.



Centro de Maquinado Horizontal, MAKINO A61



Muñón trasero de suspensión de camioneta CHRYSLER JOURNEY



OBJETIVOS

Este trabajo de tesis busca alcanzar los siguientes objetivos:

- Presentar ampliamente este tema del área de manufactura, dirigido a los compañeros estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica-eléctrica del área tanto industrial como mecánica, para brindarles una visión precisa y actual sobre todas las actividades, procedimientos, cálculos y análisis necesarios para la manufactura de la parte automotriz, muñón trasero de suspensión de la camioneta CHRYSLER JOURNEY.
- Describir el funcionamiento y características básicas del equipo en donde se procesa la pieza del chasis.
- Mostrar los dispositivos de sujeción especialmente diseñados y construidos para la manufactura de la parte, esto para hacer posible la producción en serie de la pieza.
- Explicar los fundamentos de las Tolerancias Geométricas para la interpretación de los planos, así mismo interpretar cada una de las especificaciones plasmadas en el plano de la pieza.
- Describir el funcionamiento de una celda de manufactura moderna, los procedimientos necesarios para el aseguramiento de la calidad de la materia prima, calidad del producto terminado, el flujo de los materiales, la distribución de la línea, y los procesos producción que conforman a la celda.



INTRODUCCIÓN

En la actualidad las industrias dependen de las tecnologías que apliquen para que sus procesos contribuyan de una manera efectiva a mejorar el aprovechamiento de los recursos existentes, en un mercado donde los consumidores demandan productos de mejor calidad con menores costos y en menores tiempos de producción, es por lo cual las empresas que busquen alcanzar el liderazgo en su ramo y conseguir sobrevivir en un mundo cada vez más competitivo tendrán que implementar las nuevas tecnologías que día a día van evolucionando y que se tendrán que usar para una mejora sustentable en los sistemas de producción de cada industria.

Ahora, las industrias transnacionales de máximo nivel en exigencia tecnológica y de calidad, pertenecen al ramo automotriz y aeroespacial, donde las estrategias de desarrollo y competitividad están en las incorporaciones de las innovaciones al proceso productivo, es aquí donde las máquinas-herramientas tienen un propósito fundamental, estas han desempeñado un papel de suma importancia en el desarrollo de la tecnología del mundo, es por esto que actualmente existen una gran variedad de máquinas, cada una con características diferentes para propósitos específicos.

Para las máquinas-herramientas en el ramo metal-mecánica, que es el área que nos concierne en esta tesis, y por la dificultad de establecer de una manera clara y generalizada el concepto de máquina-herramienta, se presentan las siguientes definiciones:

- Una máquina-herramienta es un instrumento de trabajo construido por un conjunto de elementos mecánicos que por medio de una herramienta adecuada da forma determinada al objeto que se desea conseguir.
- Una máquina-herramienta es un conjunto de órganos y elementos dispuestos para la transformación mecánico-geométrica de diversos materiales sólidos, que permite dar forma y acabado a las piezas metálicas, utilizando para tal fin herramientas de corte, (máquinas-herramienta por arranque de viruta) o dispositivos de forma (máquinas-herramienta por deformación)".



Una máquina-herramienta es una máquina generalmente no portátil mientras trabaja, accionada por una fuente de energía, destinada a formar productos con ayuda de procesos físico-químicos u otros. La transformación que se realiza sobre los materiales en estado sólido se puede efectuar del mismo modo, con o sin desprendimiento de materia o producto.

De esta última definición podemos hacer una clasificación fundamental de las máquinas herramientas de acuerdo a su funcionamiento, por máquinas-herramientas que producen deformación del material que trabajan, como son prensas, máquinas troqueladoras, máquinas para forja, máquinas extrusoras, máquinas embutidoras, máquinas estampadoras, entre otras. En cuanto otra clasificación, están las máquinas-herramientas que trabajan por medio de desprendimiento de viruta de la parte que producen, en esta clasificación entran máquinas convencionales como son los tornos, máquinas fresadoras, máquinas rectificadoras, taladros, sierras, así como un sin número de máquinas de propósito específico, muchas de ellas ya electrónicas y programables, así como por supuesto la gran variedad de máquinas-herramientas con tecnología CNC como el Centro de Maquinado Horizontal de 4 ejes marca MAKINO, modelo A61, que trataremos a detalle en esta tesis.

MAKINO MILLING MACHINE CO LTD. Es una empresa creada en 1937 en Tokio, Japón por su fundador Tsunezo Makino, actualmente dedicada principalmente al diseño y manufactura de Centros de Maquinado, entre ellos el Centro de Maquinado Horizontal, modelo A61 de 4 ejes, 3 lineales X, Y, Z y un eje B en una mesa rotativa, entre sus principales características en su diseño destaca su husillo integral con el rotor del motor principal, esto es que no existe mecanismo de transmisión mecánica entre el motor y el husillo de la máquina y al ser directa dicha transmisión, eliminan vibración y hacen mucho más estable el mecanizado en la máquina, así como un mejor desempeño en aceleración y desaceleración del husillo en tiempo y exactitud de las revoluciones por minuto, con un máximo de 12,000 RPM, una velocidad en avance rápido de 60 m/min., una mesa de trabajo de 500mm(19.7in.) por lado, con un recorrido de los ejes de 730mm(28.7in.) en X, 650mm(35.6in.) en Y, 730mm(28.7in.) en Z y 360,000 posiciones



en el eje B de la mesa rotatoria, con un volumen máximo en la pieza a trabajar de $\varnothing 800\text{mm}(31.5\text{in.}) \times 1000\text{mm}(39.4\text{in.})$, un peso máximo en la pieza de trabajo de 1540lb, cuenta con dos pallets y sistema automático de cambio de pallets o APC por sus siglas en ingles, para agilizar la carga y descarga de partes a maquinar, así como sistema automático de herramientas o ATC por sus siglas en ingles.

Todos estos sistemas entre otros que veremos a detalle en capítulos posteriores, están conectados en conjunto y controlados por la consola tecnológicamente superior de alto desempeño PRO5, que ofrece gran integración de los sistemas para una rápida ejecución y fácil operación de la maquina, trabajando bajo un ambiente WINDOWS CE y con tecnología FANUC en el hardware.

La parte a maquinarse como se presento en los objetivos, es un muñón de suspensión para chasis de la unidad automotriz CHRYSLER JOURNEY , el material del cual esta hecho esta parte es de hierro nodular SAE J434, con una dureza de 156-216 HB, la pieza es maquinada en cuatro posiciones, en dos dispositivos de sujeción hidráulica o mejor conocidos por su nombre en ingles Fixtures, cada uno de estos montado en cada uno de los pallets de la maquina, la maquina utiliza 19 herramientas diferentes para maquinar la parte, estos maquinados consisten en careados, desbastes y acabados de diámetros interiores, barrenados y cuerdas con machuelo, que se explicaran y se verán a detalle en capítulos posteriores en esta tesis.



CAPITULO I

EL CENTROS DE MAQUINADO , TIPOS Y CARACTERISTICAS.

I.1 Concepto de maquinas-herramienta

Partiendo de la definición de máquina como cualquier artefacto capaz de aprovechar, dirigir o regular una forma de energía, una maquina-herramienta es un tipo de maquina que utiliza una forma de energía ya sea, humana, hidráulica, animal, de vapor, combustión interna, entre otras (aunque actualmente casi todas funcionan con energía eléctrica) básicamente para dar forma a materiales sólidos, principalmente metales. Las máquinas-herramienta son operadas tanto manualmente como con sistemas automatizados controlados por computadora que permiten elaborar piezas más complejas con mayor precisión, flexibilidad y seguridad.

Muchos historiadores de la tecnología consideran que las auténticas máquinas-herramienta nacieron cuando se eliminó la participación directa del hombre en el proceso de dar forma o troquelar los distintos tipos de herramientas.



Figura I.1 Torno convencional.



1.2 Torno CNC.

De la misma manera que un torno convencional , un torno CNC es una herramienta de trabajo que nos va a permitir manufacturar piezas de distintos tipos de materiales tales como el acero, hierro o bronce,entre otros, la diferencia radica principalmente en el que en un torno de CNC, la capacidad de producir piezas con alta precisión es mucho más alta y eficaz en comparación con el uso de una máquina convencional.

En un torno CNC, los valores de las características de la pieza a maquinar están integrados en un lenguaje de programación especial, en donde una computadora, enlazada a los mecanismos de los servomotores y ejes, interpreta esta información y la convierte en distancias y trayectorias de herramientas para darle forma a la pieza.

Es esta característica esencial del CNC, la que permite que el fabricante obtenga una alta repetitividad de fabricación entre una pieza y otra, lo cual hace que este equipo sea perfecto para producciones de alto volumen de partes idénticas, ventaja que no está disponible en las máquinas convencionales, entre muchos de los factores que no permiten la deseada repetitividad son la pericia, la visión e incluso el estado físico y anímico del operador.

Los tornos CNC poseen dispositivos automáticos , generalmente hidráulicos o neumáticos, los cuales permiten al operario obtener procesos productivos eficientes. Esta ventaja se hace evidente por ejemplo con los sistemas de sujeción, mientras que con un torno convencional el operador puede tardar en promedio 2 min. para colocar la pieza en las mordazas de un chuck de manera manual, en un torno CNC esta actividad tarda apenas unos cuantos segundos.

Para su funcionamiento , los tornos CNC disponen de tres ejes de referencia : X,Y, Z. Z es el eje sobre el cual se hace el desplazamiento longitudinal, de la herramienta, este eje se usa en las operaciones de torneado exterior. El eje X ejecuta movimientos



transversales de la herramienta y mecaniza el extremo de la pieza sobre el plano perpendicular al eje de giro (refrentado). En el último lugar encontramos al eje Y, el cual se desplaza a la altura de las herramientas y trabaja la pieza desde su parte inferior hasta la zona posterior. Cada uno de estos ejes pueden desplazarse de manera simultánea para realizar mecanizados cónicos y esféricos, en base a la forma de la pieza a trabajar.

I.2.1 Tipos de torno.

Existen dos tipos de torno dependiendo del tipo de proceso a realizar: verticales y horizontales, esta última clasificación se divide a su vez en tornos de bancada plana o taller, tornos de bancada inclinada o de producción en serie, torno automático de husillos múltiples. En los siguientes párrafos procederemos a describir las características de cada uno de estos equipos.



Figura I.2 Torno vertical y horizontal respectivamente

I.2.1.1 Tornos verticales.

Este equipo está diseñado para piezas de gran tamaño que se sujetan al plato de garras u otros dispositivos y debido a sus dimensiones o peso, la actividad de fijar esta pieza en un torno horizontal se vuelve compleja. Los tornos verticales poseen un eje alineado verticalmente y un plato giratorio sobre un plano horizontal, lo cual facilita el montaje de piezas de gran tamaño y de gran peso.



I.2.1.2 Tornos de bancada plana.

Este tipo de equipos pertenecen a la misma clasificación de tornos horizontales, son equipos diseñados para producir piezas únicas o lotes de producción de bajo volumen, la bancada de este tipo de torno es plana y aunque permite el maquinado de piezas grandes, el avance de los carros es mucho menor que el de bancada inclinada. La mayoría de los tornos de taller tienen componentes manuales, tales como el husillo y la torreta.



Figura I.3 Torno de bancada plana.

I.2.1.3 Tornos de bancada inclinada.

Los tornos de bancada inclinada se caracterizan por ser capaces de manejar volúmenes de producción mas grandes con respecto a las capacidades de los tornos mencionados anteriormente, debido principalmente a que cada una de las partes de este equipo funcionan automáticamente, la torreta de herramientas por ejemplo, es automática, cuenta con una capacidad de almacenamiento de hasta 12 herramientas, las cuales en base al tipo de proceso, giran sobre el eje transversal al eje de corte. Por ser maquinas de bancada inclinada, permiten mas espacio en la manufactura de piezas que las de bancada plana.



Figura I.4 Torno de bancada inclinada.

I.2.1.4 Tornos de cabezal móvil o suizo.

Este tipo de equipos es usado en piezas cuyos diámetros son pequeños, generalmente piezas de relojería y piezas para implantes dentales o quirúrgicos en titanio o en acero inoxidable. Una de las principales características de estos equipos es que el desplazamiento longitudinal del cabezal se realiza a través de un mecanismo de palanca y de leva, siendo este último elemento que impulsa, por contacto directo, a un dispositivo llamado seguidor.



Figura I.5 Torno de cabezal móvil.



I.2.1.5 Tornos automático de husillos multiples.

Este tipo de torno se utiliza para el mecanizado de alto volumen, dado que dispone de cuatro a ocho husillos y cada uno de ellos es sujetados una barra de material. En lugar de cabezal, la máquina posee un tambor con un número de husillos determinado que giran a diferentes velocidades para llevar a cabo operaciones de roscado interior o exterior y estampado.



Figura I.6 Torno automático de husillos multiples

I.3 Centros de maquinado.

Un centro de maquinado es una maquina-herramienta avanzada, controlada por un ordenador, que posee la capacidad de llevar a cabo diferentes tipos de operaciones de mecanizado, en diferentes superficies y orientaciones de la pieza de trabajo sin necesidad de retirar la pieza de trabajo de la mesa de la máquina. Por lo general la pieza que se esta trabajando permanece fija en la mesa de trabajo mientras que las diferentes herramientas del centro de maquinado van procesando la pieza.

Los centro de maquinado están provistos de un gran tipo de herramientas para diferentes propósitos. La pieza a procesar se coloca en un pallet o tarima que se puede mover y girar. Esta característica permite cambiar la orientación de la pieza a mecanizar entre operaciones de mecanizado.



En los centros de maquinado se disponen de diversas tarimas o pallets que se pueden desplazar, son las responsables de llevar las piezas a mecanizar a las posiciones correctas para el proceso de corte, una vez finalizada la operación, el pallet se retira de forma automática y un nuevo pallet se encarga de posicionar una nueva pieza a mecanizar. Esta actividad suele durar de 10 a 30 segundos, haciendo la actividad de carga y descarga muy eficiente.

Los centros de maquinado están además, equipados con dispositivos de cambio automático de herramientas, contando con una capacidad de almacenamiento de hasta 200 herramientas en carrusel, tambor o cadena. La selección y cambio de herramienta es automático, estableciendo la máquina la secuencia de movimientos más corta para llegar a la herramienta seleccionada por el programa CNC. Al espacio disponible para que trabaje la herramienta se le denomina envoltorio o volumen de trabajo.

En la mayoría de los casos y debido al diseño, cada herramienta incorpora su propio portaherramienta. Las herramientas suelen codificarse mediante códigos de barra, etiquetas codificadas o chips de memoria incorporados. El tiempo de cambio de la herramienta suele estar entre 5 y 10 segundos (30 segundos en el caso de herramientas muy pesadas).

Existen otros componentes de los centros de maquinado, los cuales serán mencionados a continuación.

Las estaciones de verificación de herramienta (incluidas en el programa de CNC y denominadas como OFFSET) o de pieza, permiten hacer la compensación de cualquier variación en la pieza de trabajo (ajuste) o en las herramientas (ajuste o desgaste y/o reemplazo de insertos y herramientas completas).

Los palpadores o bases magnéticas de contacto (incluidas en el portaherramienta o en el pallet) son usados para determinar las superficies de referencia en la pieza de trabajo.



Se pueden usar para encontrar el punto “zero” de referencia sobre el cual a partir de el se comienzan a calcular las distancias de contacto de la herramienta en la pieza de trabajo y para la validación dimensional de las características especificadas en el plano.

I.3.1 Tipos de centros de maquinado.

Los dos tipos de centros de maquinado son los que cuentan con un husillo vertical y los de husillo horizontal, sin embargo, se hace la aclaración que el mercado existen equipos con la capacidad de trabajar con los dos tipos de husillos al mismo tiempo.

1.3.1.1 Centros de maquinado de husillo vertical.

Este tipo de equipos tiene la capacidad de trabajar en cavidades profundas (Moldes y matrices para troqueles). Su apariencia se asemeja a la de una fresadora convencional de husillo vertical. La fuerza de corte es hacia abajo, son maquinas de gran rigidez y brindan una precisión dimensional de alta calidad.



Figura I.7 Centro de maquinado de husillo vertical.



I.3.1.2 Centros de maquinado de husillo horizontal.

Este tipo de equipo es ideal para el mecanizado de piezas de gran dimensión . El pallet puede girar en diferentes ejes, permitiendo diferentes posiciones angulares de la pieza de trabajo, de este tipo de maquina podemos mencionar los tornos automáticos, equipo descrito al inicio de este capitulo.



Figura I.8 Centro de maquinado de husillo horizontal.

I.3.2 Características de los centros de maquinado.

- Capacidad para mecanizar una gran variedad de tamaños y formas.
- Alta repetitibilidad dimensional y cumplimiento de tolerancias de +/- 0.001 mm.
- Son maquinas flexibles, capaces de adaptarse a una gran variedad de piezas.
- Tiempo mínimo de carga y descarga de piezas.
- Tiempo mínimo en el cambio de herramientas.
- Tiempo mínimo para la puesta a punto y compensación de las herramientas y pieza de trabajo.
- Productividad aumentada gracias a la reducción de los tiempos de puesta a punto y cambio de herramienta.



- Optimización de los costos de producción.
- Posibilidad de monitorear las condiciones y vida útil de la herramienta (desgaste, ruptura).
- Compactas y altamente automatizadas.
- En general poseen las siguientes prestaciones: Velocidades máximas de giro de husillos entre 4000 a 8000 rpm, capaces de maquinar piezas de hasta 7000 kg.

I.4 Componentes y estructura de los centros de maquinado.

En este apartado se mencionaran todos los mecanismos, dispositivos y sistemas que controlan los diferentes movimientos y acciones que realizan los equipos CNC para llevar a cabo el conjunto de instrucciones cargadas en un programa con lenguaje CNC para producir una pieza en específico, las herramientas usadas en estas maquinas, las funciones programables y los componentes del sistema.

El Personal operativo experto debe de conocer el rango de prestaciones y limitaciones que este tipo de equipos ofrecen para el desempeño de determinada tarea de manufactura. De tal manera que a continuación se enlistan los principales componentes de un centro de maquinado:

- Ejes de movimiento.
- Sistemas de transmisión.
- Sistemas de control de posición y desplazamiento.
- Cabezal.
- Sistemas de sujeción de la pieza (dependera de la forma de la pieza a maquinar principalmente).
- Cambiadores automáticos de las herramientas.
- Ejes complementarios.



I.5 Ventajas y desventajas de los centros de maquinado.

Ventajas de un Sistema CNC

- Alto grado de calidad debido a la precisión, repetibilidad y ausencia de variaciones introducidas por un operador.
- Desperdicios reducidos. Son menos probables los errores debidos a la fatiga del operador, interrupciones y otros factores.
- Inspección simplificada. Una vez que la primera pieza ha pasado la inspección, se requiere una inspección mínima en las partes subsecuentes.
- Menores costos de herramientas debido a la menor necesidad de montajes y reparaciones complejas.
- Tiempo de servicio reducido.
- Las operaciones complejas de la maquinaria se realizan más fácilmente debido al control avanzado de la máquina.

Desventajas de un Sistema CNC

- Las herramientas de una máquina numéricamente controlada no cortan el metal tan rápido como las máquinas convencionales.
- El control numérico no elimina la necesidad de herramientas caras. Además, hay un gasto inicial mayor.
- El control numérico no elimina los errores por completo. Los operadores todavía se pueden equivocar al presionar los botones equivocados, al realizar alineaciones erradas, y fallan al ubicar las piezas adecuadamente en una montura.
- Se necesita escoger y entrenar a programadores y a personal de mantenimiento y operación.



I.6 Sistemas de Programación CAD/CAM

Los sistemas de Diseño Asistido por Ordenador o CAD (*Computer Aided Design* por sus siglas en inglés) son lenguajes de programación que se utilizan para la fabricación, desarrollo y diseño de piezas con la adecuada aplicación de tecnología informática. Pueden utilizarse para generar modelos que incluyan la mayoría o todas las características de un determinado producto. Estas características pueden ser el tamaño, el contorno y la forma de cada componente, almacenado como planos 2D y tridimensionales. Una vez que estos datos dimensionales se introducen y se recopilan en el sistema informático, el diseñador puede manipularlos o modificar las ideas del esquema con mayor facilidad para avanzar en el desarrollo del producto. Además, pueden compartirse e integrarse las ideas combinadas de varios ingenieros ya que es posible mover los datos dentro de redes informáticas con lo que, situados en lugares distantes, pueden trabajar y colaborar entre sí. Los sistemas CAD también permiten simular el funcionamiento de un producto; hacen posible verificar si un circuito electrónico propuesto funcionará tal y como está previsto, si un puente por ejemplo será capaz de soportar las cargas pronosticadas sin peligro de colapsarse, e incluso si una salsa de tomate fluirá adecuadamente desde un envase de nuevo diseño.

Cuando los sistemas CAD se conectan a equipos de fabricación también controlados por ordenador conforman un sistema integrado CAD/CAM (*Computer Aided Manufacturing*, por sus siglas en inglés).

La Fabricación Asistida por Ordenador ofrece significativas ventajas con respecto a los métodos tradicionales. Por lo general, los equipos CAM conllevan la eliminación de los errores del operador y la reducción de los costos de mano de obra. Sin embargo, la precisión constante y el uso óptimo previsto del equipo representan ventajas aún mayores. Por ejemplo, las cuchillas y herramientas de corte se desgastarán más



lentamente y se estropearan con menos frecuencia, lo que reduciría todavía más los costos de fabricación. Los equipos CAM se basan en una serie de códigos numéricos, almacenados en archivos informáticos para controlar las tareas de fabricación. Esto se obtiene describiendo las operaciones de la máquina en términos de los códigos especiales y de la geometría de forma de los componentes, creando archivos informáticos especializados o programas de piezas. La creación de estos programas es una tarea que, en gran medida, se realiza hoy día por software informático especial que crea el vínculo entre los sistemas CAD y CAM.

Las características de los sistemas CAD/CAM son aprovechadas por diseñadores, ingenieros y fabricantes para adaptarlas a las necesidades específicas de sus requerimientos. Por ejemplo, un diseñador puede utilizar el sistema para crear rápidamente un primer prototipo y analizar la viabilidad de un producto, mientras que un fabricante quizá emplee el mismo sistema ya es el único modo de poder fabricar con precisión un componente complejo. La gama de prestaciones que se ofrecen a los usuarios de CAD/CAM está en constante expansión. Por ejemplo, los fabricantes automotrices pueden diseñar el prototipo de una pieza mediante el sistema CAD para reducir al máximo el derroche de material al ser delineado y cortado con una sierra o un láser CNC. Además de la información de CAD que describe el contorno de un componente en fase de diseño o producción, es posible elegir el material más adecuado para su fabricación en la base de datos que ofrece el software, y emplear una variedad de máquinas CNC combinadas para producirla.

Los nuevos avances que se añadirán a los centros de maquinado incluirán la integración aún mayor de sistemas de realidad virtual, que permitirá a los diseñadores interactuar con los prototipos virtuales de los productos mediante computadora, en lugar de tener que construir costosos modelos o simuladores para comprobar su viabilidad. También el área de prototipos rápidos es una evolución de las técnicas de CAD/CAM, en la que las imágenes tridimensionales procesadas electrónicamente se convierten en modelos reales empleando equipos de fabricación especializada.



I.7 Características del Centro de Maquinado CNC

Como ya se ha mencionado, los centros de mecanizado poseen características importantes como la flexibilidad y versatilidad debida al alto grado de automatización que las hace capaces de realizar diversas operaciones de mecanizado, además son reconfigurables, por lo que pueden cambiar rápidamente de programación para realizar diferentes tareas sobre una misma pieza. Cuentan con elementos principales como:

- Control numérico computarizado CNC
- Carruseles con cambiadores automáticos de múltiples herramientas.
- Ejes habilitados para trabajar en todos los lados de la pieza.

Existen diferentes configuraciones que pueden ser adoptadas por este tipo de centros de maquinado, sin embargo en términos generales, la herramienta de corte se desplaza en tres ejes ortogonales para ejecutar trayectorias tridimensionales mientras que la pieza de trabajo se encuentra sujeta durante el maquinado, en bases intercambiables, bases giratorias o en sistemas planetarios, por lo tanto, luego de una operación en particular, la pieza no tiene que ser removida y llevada a otra máquina para una transformación posterior. Los almacenadores de los intercambiadores de herramientas ocultan las herramientas y los intercambia en los husillos según los comandos del programa que asegura velocidades óptimas y almacenamiento así como las coordenadas de los espacios necesarios para maquinar la pieza.

En una máquina CNC una computadora controla el movimiento de la mesa, el carro y el husillo. Los programas de los centros de mecanizados pueden ser almacenados y proporcionan la entrada a los centros de mecanizados con CNC por medio de ocho



canales Mylar tape, diskettes (3 ½) o directamente desde una computadora externa. Muchos de los centros de mecanizado tienen una minicomputadora interna que les permite almacenar varios programas y eliminar los datos de entrada necesarios cada vez que se elabora una pieza.

Como ya se había explicado anteriormente, existen varias designaciones para los centros de mecanizado, los dos tipos básicos de son de husillo horizontal y husillo vertical; algunos de los centros pueden usar ambos tipos de husillo:

- Los centros de mecanizado con husillo vertical son recomendados para realizar operaciones de mecanizado sobre superficies lisas con cavidades profundas por ejemplo, en la fabricaron de moldes, matrices o dados. Como en el maquinado vertical los empujes se dirigen hacia abajo, estas maquinas tienen gran rigidez y producen piezas con buena precisión y tolerancia dimensional. Son generalmente menos costosos que los de husillo horizontal
- Los centros de mecanizado con husillo horizontal son recomendados para grandes piezas que requieren de diversos mecanizados en distintas partes de su geometría. La mesa de trabajo puede rotar sobre varios ejes. Una categoría de las maquinas con husillo horizontal son los centros de torneado, los cuales son tornos controlados por computadora que permiten en algunos casos, que la pieza que esta siendo maquinada pueda inclinarse determinado ángulo.
- Los centros de mecanizado universales son desarrollos mas recientes y están equipados con ambos tipos de husillo horizontal y vertical. Poseen una gran variedad de características y son capaces de mecanizar todas las superficies de una pieza.

Los centros de mecanizado pueden ser clasificados más a fondo según se desplace la mesa o la columna. Los del tipo de mesa desplazable son usados para maquinar partes pequeñas, incorporando un sistema de plataforma para transportar la pieza a trabajar.



Los diseños de columna desplazable son muy usados para mecanizar partes grandes. Estos centros de mecanizado usualmente tienen un módulo de trabajo que contiene 60, 360 ó 720 posiciones programables de rotación indexados en una tabla o 360.000 posiciones programables totalmente controlables por tablero.

1.8. Selección y aplicaciones

Como ya se mencionó, las cuatro variables fundamentales que inciden en la eficacia de un automatismo son: productividad, rapidez, precisión y velocidad.

De acuerdo con estas variables, las series de fabricación toman en cuenta el tipo de automatismo más conveniente de acuerdo al número de piezas a fabricar:

- Grandes series: (mayor a 10.000 piezas)

Esta producción está cubierta en la actualidad por las máquinas transfert, realizadas por varios automatismos trabajando simultáneamente en forma sincronizada.

- Series medias: (entre 50 y 10.000)

Existen varios automatismos que cubren esta gama, entre ellos los copiadores y los controles numéricos. La utilización de estos automatismos dependerá de la precisión, flexibilidad y rapidez exigidas. El control numérico será especialmente importante cuando las fabricaciones se mantengan en series comprendidas entre 5 y 1.000 piezas que deberán ser repetidas varias veces durante el año.

- Series pequeñas: (menores a 5 piezas)

Para estas series, la utilización del control numérico suele no ser rentable, a no ser que la pieza sea lo suficientemente compleja como para justificarse su programación con ayuda de una computadora. Pero en general, para producciones menores a cinco piezas, la mecanización en máquinas convencionales resulta ser más económica.



Los centros de mecanizado requieren un gasto de capital significativo. Por lo tanto, para que sea económicamente rentable la inversión en ellos, debe existir la suficiente y continua demanda de productos a realizarse en estos centros de mecanizado además de un minucioso programa de mantenimiento para conservar los centros de mecanizado operativos. La mayoría de las empresas tratan de operar sus centros de mecanizado como otra máquina de control numérico, por lo menos dos cambios por día para obtener de manera más rápida la recuperación de la inversión.

I.9. Ventajas de los centros de mecanizado

Sus principales ventajas son el aumento de la productividad y la versatilidad. La capacidad de realizar torneados, taladrado, cepillado, etc. en una sola máquina elimina la necesidad de un número de máquinas herramientas individuales, reduciendo la inversión de capital en equipos y los requerimientos de labor. Un operador relativamente "inexperto" puede manejar dos centros de mecanizado y a veces más. La mayoría de las piezas pueden ser completadas en un solo centro de mecanizado. También se logra obtener una disminución de los costos de los accesorios y de los requisitos de espacio. La sustancial cantidad de tiempo que convencionalmente se gasta en transportar la pieza de una máquina a otra es eliminada, y el rendimiento del proceso es mejorado positivamente. Además, en el inventario de proceso representado por los deslizamientos de los objetos vistos normalmente en varias máquinas, es substituido por el trabajo en solamente una máquina.

La mayoría de los centros de mecanizado mantienen las tolerancias constantemente repetitivas, dando por resultado piezas de más alta calidad, reduciendo costosas inspecciones por variación de dimensiones y el rechazo de piezas. El cambio de la producción de una pieza a otra puede ser hecho rápidamente.



Actualmente el tiempo de mecanizado de los centros puede ser la mitad o menos que el de las máquinas-herramientas simples, estimando un incremento en la productividad por hora-hombre de un 300 a 500% ó más, especialmente en las aplicaciones que requieren varias herramientas y cambios frecuentes. El rango de capacidades típico se encuentra por encima de los 75kW (100 hp) y las velocidades máximas de los husillos se encuentran usualmente en el rango de las 4000 - 8000 rpm, pero algunos pueden llegar hasta las 75000 rpm para aplicaciones especiales. Algunas mesas de trabajo son capaces de soportar piezas de hasta 7000 kg, para aplicaciones especiales se encuentran disponibles mesas de que soportan mayores pesos.

Los centros de mecanizado actualmente se encuentran disponibles en un amplio rango de tamaños y características, tienen un costo inicial elevado, más que el de otras máquinas herramientas, pero el retorno anual en la inversión ha sido estimado alrededor de mas del 30%. Los modelos compactos disponibles hacen que estas máquinas se encuentren al alcance de las pequeñas empresas. Los costos aproximados se encuentran en un rango entre los \$ 50.000 USD a \$ 1.000.000 USD o más.

La precisión que pueden mantener y la confiabilidad de las máquinas y sus controles se han mejorado continuamente. Actualmente se están construyendo máquinas con módulos periféricos y accesorios que pueden ser instalados y modificados según la demanda y los cambios o mejoras de las partes que se producen. Por ejemplo un aumento en la productividad de los centros produce una mayor cantidad de viruta la cual debe ser recolectada y almacenada correctamente, para lo cual se encuentran disponibles diseños especiales con gran capacidad de recolección de la misma.



CAPITULO II

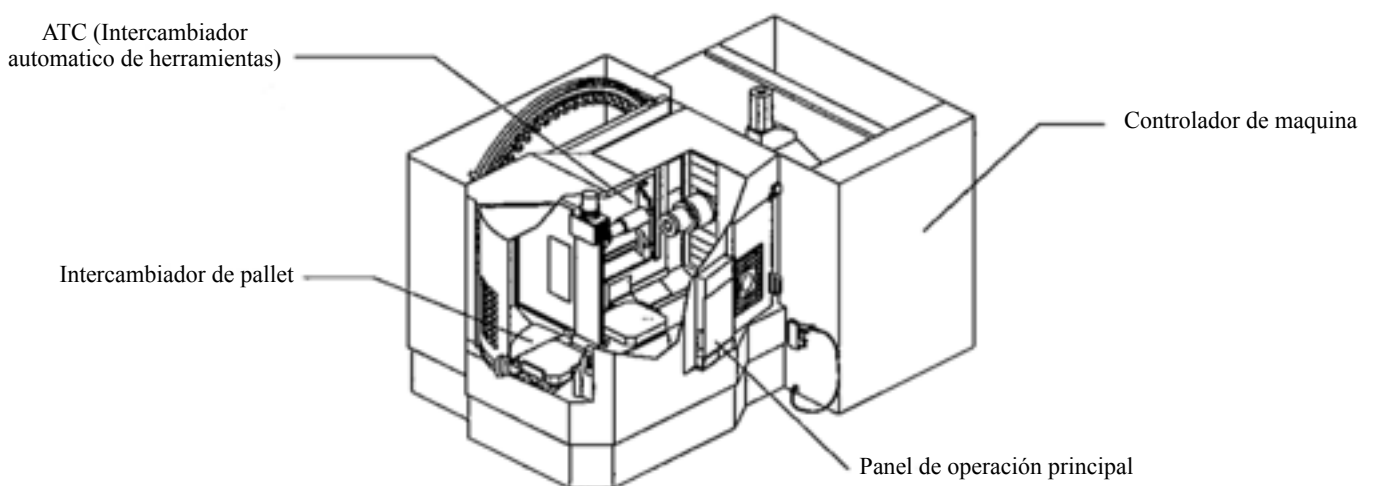
CENTRO DE MAQUINADO HORIZONTAL CNC MAKINO A61

En este capítulo hablaremos acerca de los componentes que integran este centro de maquinado, su descripción y sus funcionamiento como parte del sistema CNC.

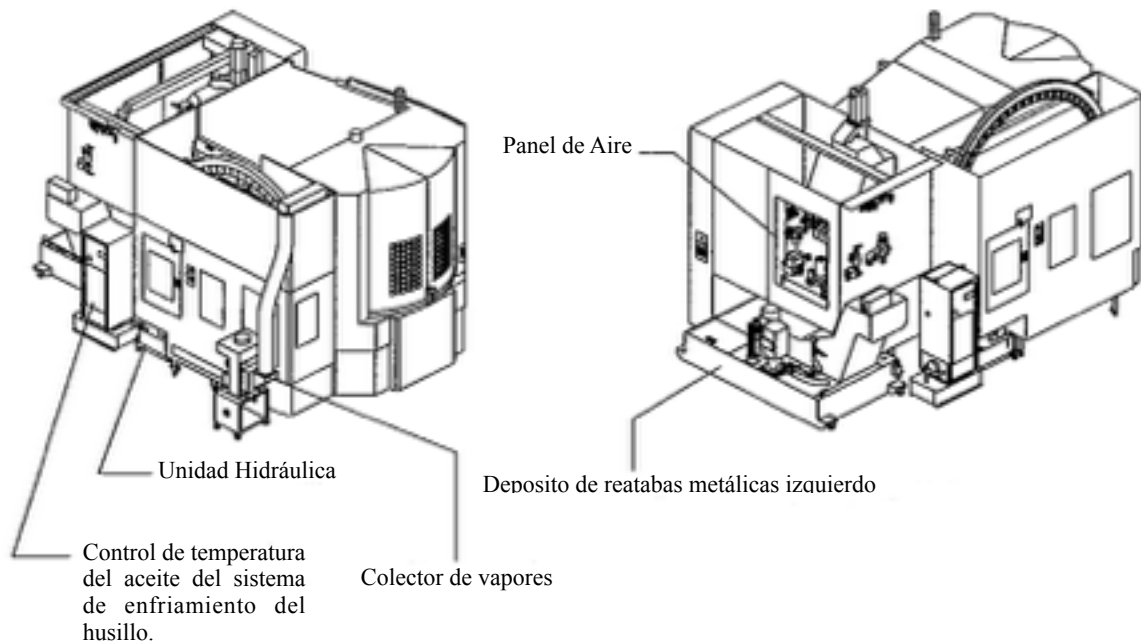
La marca Makino ofrece cuatro tipos de modelos diferentes de Centros de maquinado horizontales en la serie a-1: a51, **a61 (ver esquema II.1)**, a71 y a81.

Las series a-1 permiten llevar a cabo el maquinado de piezas de alta precisión de una manera altamente eficiente. Existe una completa gamma de accesorios y periféricos disponibles para incrementar las prestaciones de estos equipos, y de esta manera cumplir con los requerimientos de maquinado especificados en los planos de los diseños.

II.1 Esquema del Centro de maquinado Horizontal Makino A61



Esquema II.1 del Centro de maquinado Horizontal Makino A61



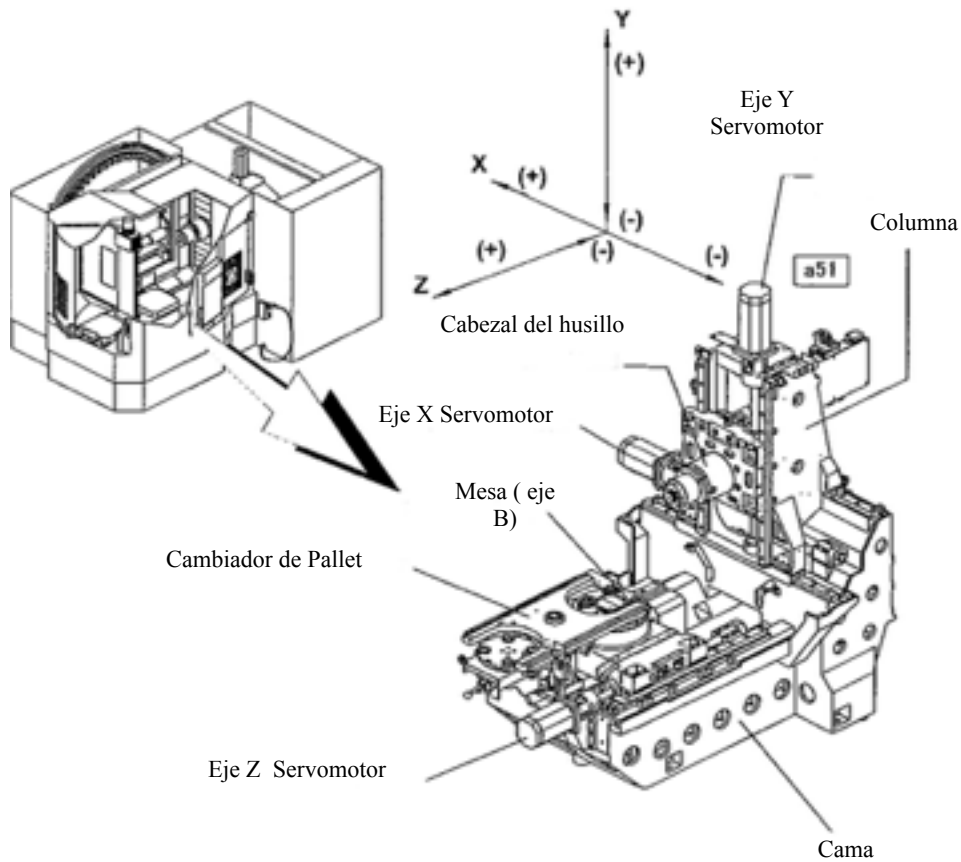
Esquema II.2 Centro de maquinado Horizontal Makino A61

II.1.1 Descripción general de la maquina.

En este capítulo describiremos la configuración de los ejes y los componentes primarios.

II.1.2 Configuración de Ejes:

- Eje X: El movimiento de la columna es horizontal (derecha-izquierda)
- Eje Y: El movimiento del transportador del husillo en la columna es vertical (arriba y abajo).
- Eje Z: El movimiento del *pallet* montado sobre la base es de un lado hacia otro.



Esquema II.3 Componentes primarios de la máquina

II.1.3 Componentes primarios de la maquina.

Los componentes primarios del centro de maquinado de la serie a-1 consisten principalmente en la cabeza del husillo, la columna, la mesa, el intercambiador automático de herramientas (ATC- Automatic tool changer), el intercambiador automático de pallets (APC- Automatic pallet changer), la unidad hidráulica, controlador de temperatura del husillo (enfriamiento), controlador de la maquina, Interfaz de Control numérico y el contenedor de rebabas.(Ver Esquema II.3)



- Husillo.

El husillo esta montado en el compartimiento del husillo localizado en la parte frontal de la columna. El husillo se puede mover hacia arriba y hacia abajo a lo largo del eje Y. Un motor de corriente alterna es el encargado de darle la potencia y movimiento al husillo.

Los rodamientos del husillo son lubricados a través de un sistema de lubricación de presión por aire. El husillo y el motor son enfriados usando una camisa enfriadora, el calor generado es removido por un aceite refrigerante a través de un deposito de aceite enfriador suministrado por el controlador de temperatura del husillo.

En el caso de maquinas con husillos de alta velocidad, tanto el sistema de lubricación como el de enfriamiento son controlados por el controlador de temperatura del husillo usando el lubricante de husillo marca Makino.

- Columna.

La columna es una estructura de configuración doble la cual se puede mover horizontalmente, izquierda ó derecha a través de guías lineales montadas en la cama, formando el eje X.

- Cama.

La cama es una estructura de alta resistencia compuesta de varias costillas o barras, cuya función principal es brindar soporte a las guías de movimiento lineal de los ejes X y Z. se requiere una estructura de soporte de tres puntos de contacto para lograr una mejor instalación y eficiencia de este dispositivo, con esto evitamos que el equipo quedo inclinado o desnivelado.

- Mesa.

La Mesa consiste en una base posicionadora y una mesa. La mesa esta equipada con cuatro conos convexos y un mecanismo hidráulico de sujeción para asegurar el pallet a



la mesa. La base posicionadora y la mesa se pueden mover hacia adelante y hacia tras sobre la cama formando el eje Z.

El pallet es colocado sobre la mesa de manera precisa por los cuatro conos convexos y el mecanismo hidráulico de sujeción asegura el pallet a la mesa.

La mesa está equipada con un mecanismo de rotación (eje B). Existen dos tipos de mesas disponibles: mesa de indexado (Índice mínimo de incremento: 1°); y la mesa rotatoria (Índice mínimo de incremento: 0.0001°). El mecanismo de sujeción de la mesa es también hidráulico.

- Intercambiador automático de pallet (APC).

Este dispositivo es el encargado de cambiar los pallets sin necesidad de que el operador tenga que apretar algún botón en el panel de control.

- Intercambiador automático de herramientas (ATC).

La unidad ATC (excepto el compartimiento tipo ATC para herramientas de gran tamaño) está formado por los siguientes componentes:

- Cargador de herramientas
- Brazo ATC
- Sub-brazo

En el caso del compartimiento tipo ATC para herramientas de gran tamaño, el compartimiento tiene la capacidad de moverse hacia la posición del husillo para hacer el cambio de la herramienta.

- Unidad Hidráulica

La Unidad Hidráulica es la responsable de abastecer aceite hidráulico a los siguientes componentes:



- Husillo.
 - Mesa.
 - Intercambiador de pallet.
 - Cargador de herramientas.
-
- Controlador de temperatura del aceite lubricante/enfriador del husillo.
Este controlador circula aceite refrigerante a través del cilindro externo de la cabeza del husillo y absorbe el calor generado para ajustar la temperatura del husillo a la de la cama de la máquina.

 - Controlador de temperatura del aceite lubricante(Especificaciones para husillos de alta velocidad).
Este controlador circula el aceite lubricante/enfriador a lo largo de la cabeza del husillo incluyendo el núcleo del husillo y absorbe el calor generado para ajustar la temperatura del husillo a la de la cama de la máquina.

 - Controlador de la maquina.

El controlador se encarga de la administración de todas las operaciones y funciones de la máquina incluyendo las operaciones de la unidad ATC, el cargador del pallet y el manejo de los datos de la herramienta/pieza de trabajo requeridos para el proceso de maquinado.

- Interfaz de Control numérico.

La interfaz de Control numérico ejecuta los programas de Control numérico cargados a la memoria de la maquina, además de controlar los servomotores de los ejes de la maquina y el motor del husillo.



- Contenedor de rebabas.

Es el encargado de recoger los residuos metálicos del maquinado, existe un conveyor en la parte interna de la maquina, el cual es el encargado de extraer la rebaba generada, filtrar el refrigerante y depositar la rebaba en este contenedor.

II.2 Especificaciones básicas de la máquina modelo a61

Ejes (X,Y,Z)	730 x 650 x 730mm
Tamaño del <i>pallet</i>	500 x 500mm
Carga máxima en el <i>pallet</i>	500kg /700kg (seleccionable)
Entrada menor del husillo	7/24 <i>Taper</i> No. 40
Peso de la máquina	9500kg (con 40 kg del cargador de herramientas)

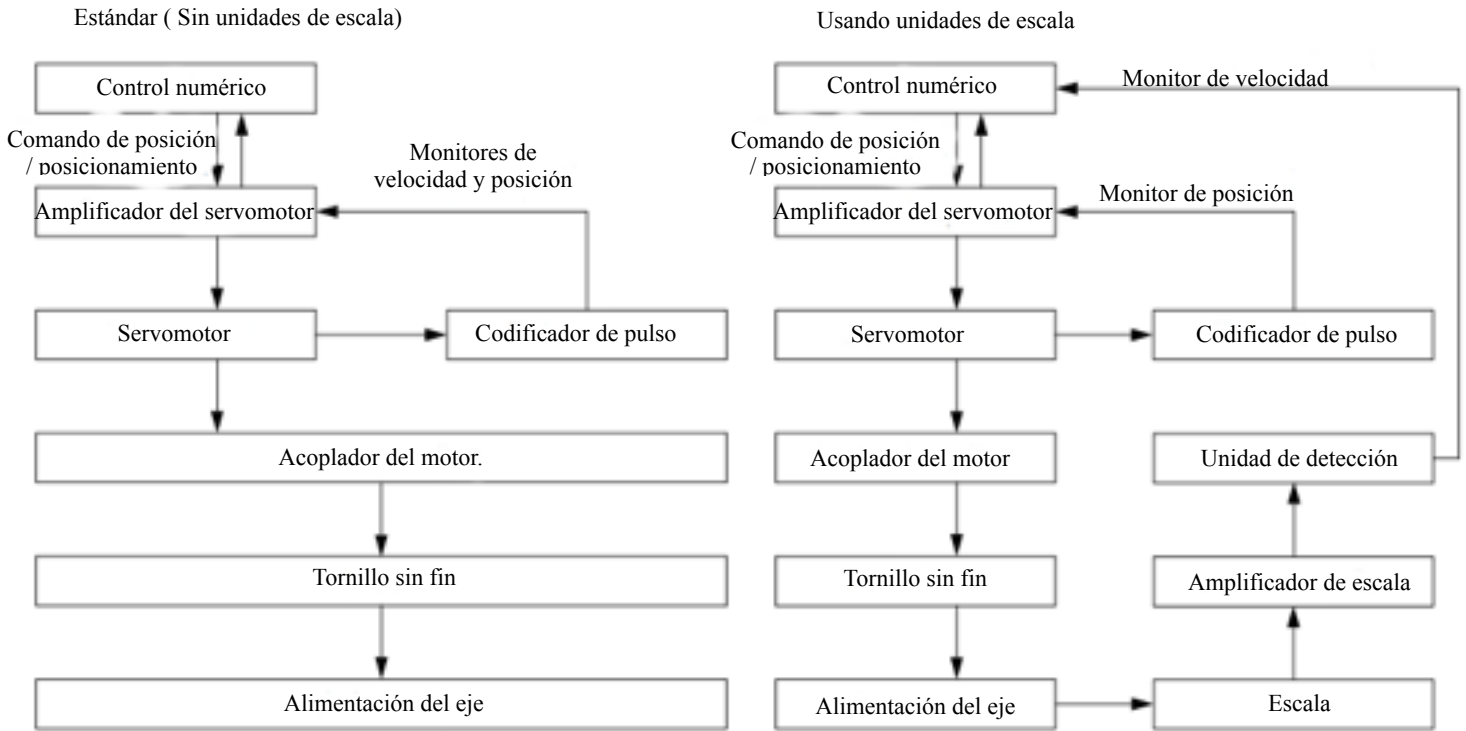
Tabla II.1 Medidas y peso de los componentes principales del centro de maquinado Makino A61

II.3 Mecanismos de accionamiento para la alimentación de los ejes.

II.3.1 Mecanismos de accionamiento.

Cada eje es accionado por un tornillo sin fin y un servomotor. Los movimientos de los ejes (velocidad y posicionamiento) son controlados mediante códigos de CNC.

En el siguiente esquema observamos la secuencia de activación del mecanismo usando escalas de ajuste y omitiendo estas, el diagrama de flujo muestra las interacciones entre los sistemas electrónicos y mecanismos para llevar a cabo el movimiento de determinado eje, todo esto en base los comandos y directrices especificados en el programa de Control Numérico.



II.3.2 Configuración de ejes.

Cada tornillo sin fin (eje) es activado a través de un servomotor de corriente alterna acoplado a un motor. El tornillo sin fin se encuentra soportado por cojinetes en ambos extremos y su mecanismo de rotación es activado por el servomotor.

La figura II.4 nos muestra el mecanismo de accionamiento de los ejes (configuración).

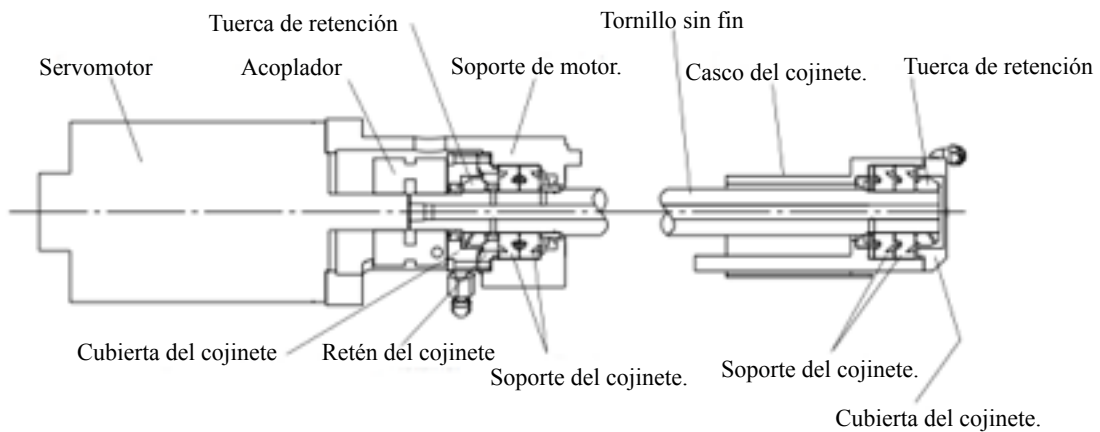


Figura II.4 Mecanismos de accionamiento en el eje X.

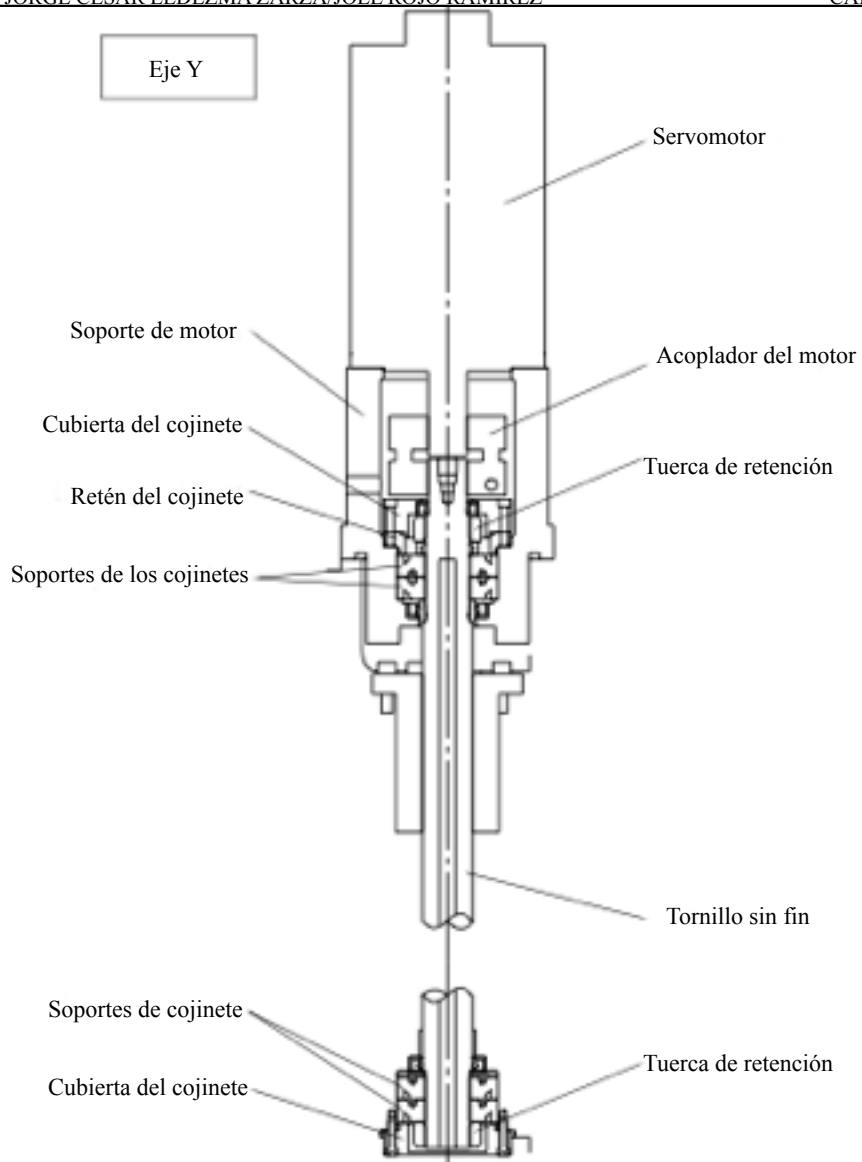


Figura II.5 Configuración de eje Y

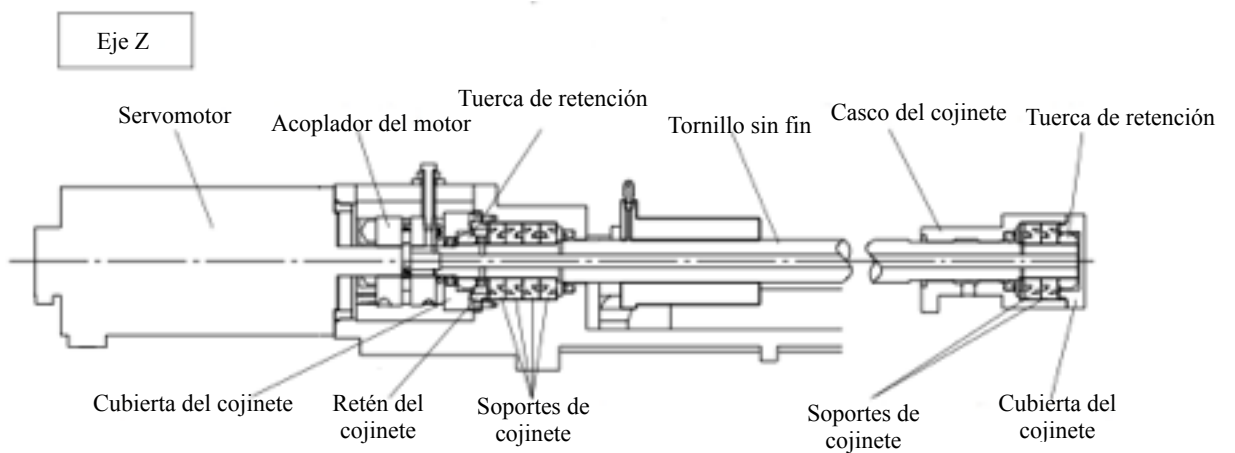


Figura II.6 Configuración de eje Z



II.3.2.1 Acoplamiento del motor.

La flecha del motor y el tornillo sin fin son conectados a través de un mecanismo de acoplamiento. El mecanismo de acoplamiento consiste en un juego de bridas de acoplamiento y resortes planos. Las bridas de acoplamiento son conectadas a la flecha del motor y al tornillo sin fin a través de la fuerza de fricción generada cuando el eje es sujetado por el tornillo de compresión.

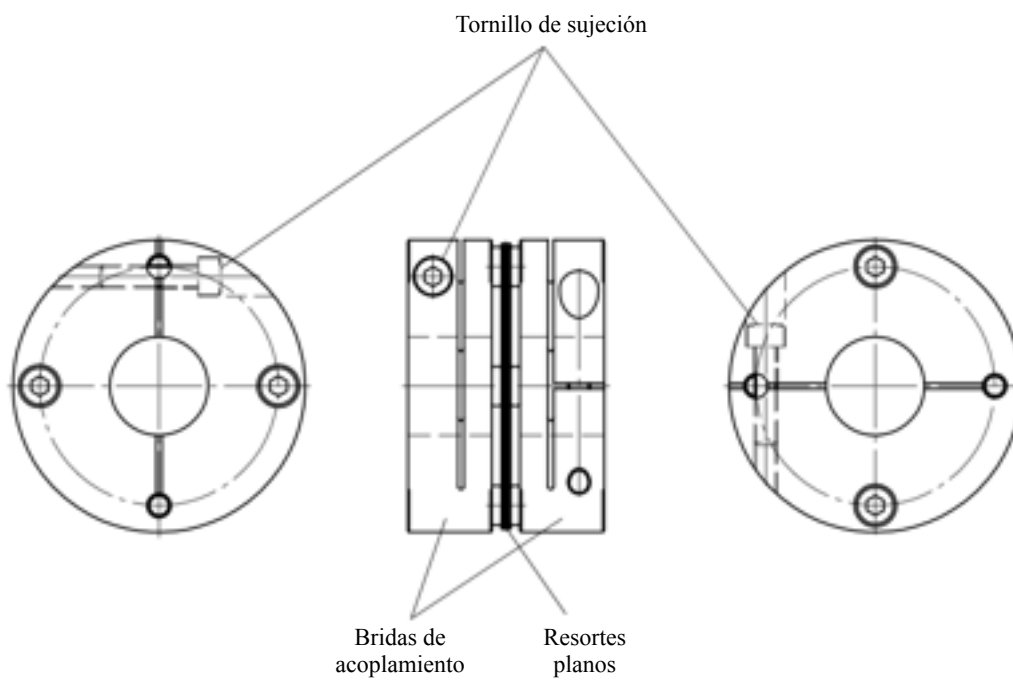


Figura II.7 Acoplamiento del motor.



II.3.3 Panel MDI

El teclado del panel principal de operación es llamado MDI (*Manual Data Input* por sus siglas en inglés o Entrada Manual de Datos). El panel MDI es usado para introducir datos y cambiar el despliegue de las pantallas.

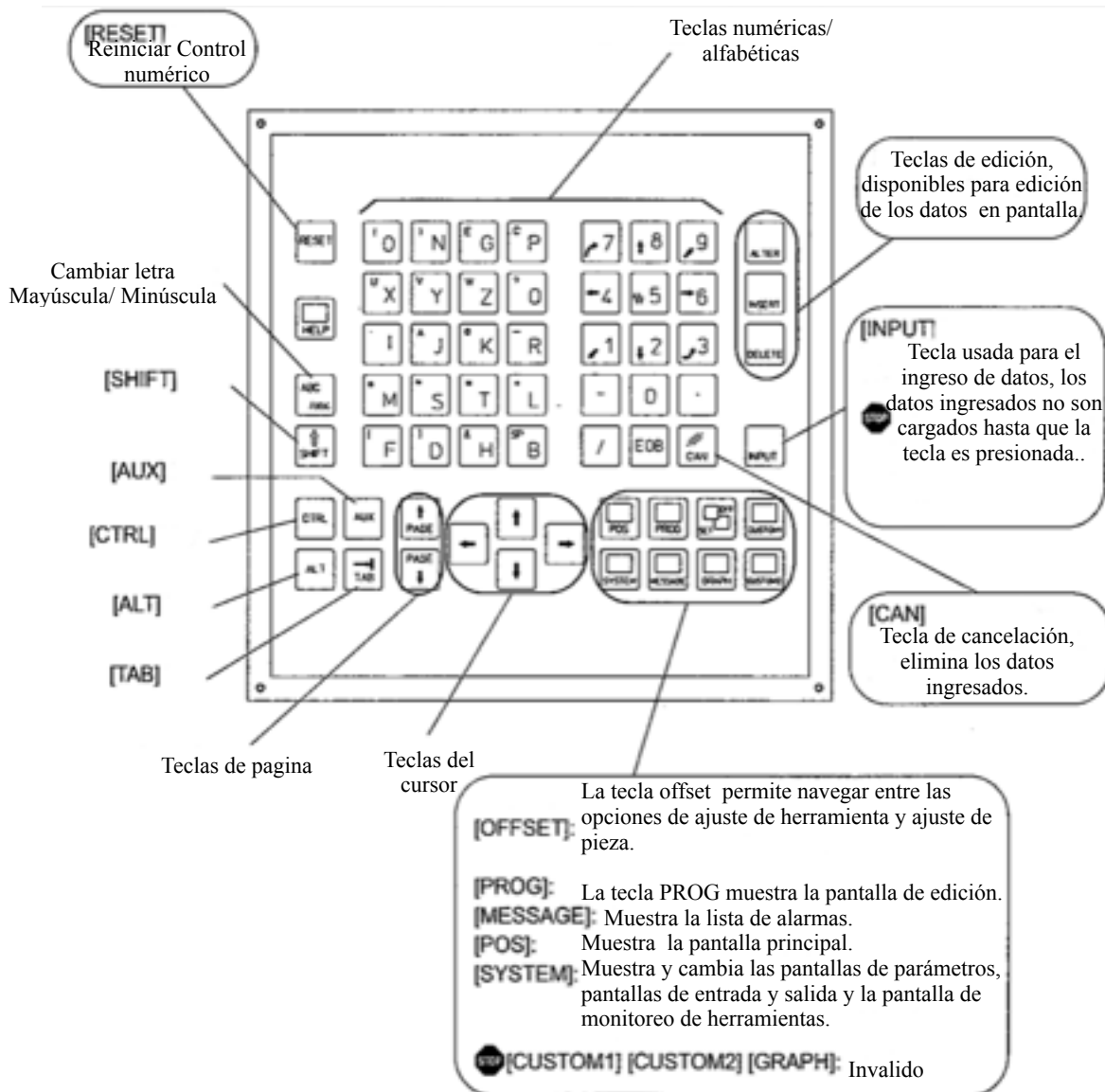


Figura II.8 Panel MDI

**II.4 Tipos de Cargadores de herramienta**

Máquina	Tipo de cargador			
	Anillo	Matriz		Rack-Tipo ATC para herramientas de gran tamaño
a51	40,60	134, 219	*	*
a61	40,60	134, 220	*	3
a71	40,60	97, 137	186, 242, 300	*
a81	40,60	97, 137	186, 242, 300	*
Puerta del cargador	» 5.2.2	*	» 5.2.3	*
Puerta TLS	*	» 5.2.3	» 5.2.3	*
Cubierta del Rack-Tipo ATC para herramientas de gran tamaño	*	*	*	» 5.2.4
Protector de Seguridad APC	» 5.3	» 5.3	» 5.3	» 5.3

Tabla II.2 Cargador de herramienta Tipo/Capacidad



II.4.1 Programación de la velocidad del brazo ATC para el cambio de herramienta

El cambio de herramienta se realiza mediante la rotación del brazo ATC (Automatic Tool Change, por sus siglas en ingles). La velocidad de rotación (alta, media o baja) del brazo ATC se puede programar para cada herramienta. El brazo ATC normalmente rota a alta velocidad. En casos especiales como en el de herramientas pesadas o en las unidades de investigación de medición automática de las piezas de trabajo, las velocidades deben ser medias o bajas respectivamente. Las velocidades de rotación son parte de los datos de la herramienta y pueden ser registrados en la pantalla "Tool Data" o usando "M-codes". Las velocidades se programan de acuerdo a los siguientes parámetros:

Velocidad de Rotación	Peso total de la herramienta (incluyendo el eje)/ Momento de la herramienta/Otras condiciones	Programación de velocidad del brazo ATC	Programación tipo de herramienta
Alta (normal)	Peso total de la herramienta: 8kg o menos Momento Total: 11.76N.m ó menos	0: Alta	
Media	Peso total de la herramienta: entre 8kg y 12 kg Momento Total: 11.76N.m ó menos	2: Media	
Baja	Herramienta que se lleva con baja velocidad en un caso especial	1: Baja	
Baja	Trabajo de medición (exploración)	0: Alta	10: Exploración

Tabla II.3 Programación de velocidad de rotación del brazo ATC (a51/a61)



II.4.2 Limitaciones de almacenamiento de herramienta.

La tabla II.9 nos muestra los distintos modelos de la serie a-1 y sus respectivas limitaciones en cuanto al tamaño de las herramientas soportadas.

Tipo de máquina Caso	a51/a61	a61 Rack- Tipo ATC para herramientas de gran tamaño	a71	a81
Capacidades de almacenamiento de herramienta	herramientas-40/60/134/219	herramientas-3	herramientas-40/60/97/137/186/242/300	herramientas-40/60/97/137/186/242/300
Diámetro máximo de la herramienta con moldes adyacentes vacíos	170mm	*	300mm	300mm
Diámetro máximo de la herramienta, posición de programación de herramientas de gran tamaño	*	170mm	*	*
Diámetro máximo de la herramienta con herramientas en moldes adyacentes	70mm (algunas son de 40mm) »"8.5 Diseño de la herramienta - <i>Tool layout</i> "	80mm	115mm (herramientas 40/60) 100mm (herramientas-97/137/186/242/300)	115mm (herramientas 40/60) 100mm (herramientas-97/137/186/242/300)
Longitud máxima de la herramienta	360mm 420mm (HSK)	560mm	450mm 540mm (HSK)	600mm 690mm (HSK)
Dimensiones máximas de la herramienta	*	300x250x300 mm	*	*



Peso máximo de la herramienta	12kg (modo alta velocidad: 8kg)	Largo de herramienta: 15kg Herramienta de diámetro grande: 30kg	20kg (herramientas 40/60) 30kg (herramientas 97/137/186/242/300)	20kg (herramientas 40/60) 30kg (herramientas 97/137/186/242/300)
Momento máximo de la herramienta	11.76 N:m	*	19.6N:m (herramientas 40/60) 29.4N:m (herramientas 97/137/186/242/300)	19.6N:m (herramientas 40/60) 29.4N:m (herramientas 97/137/186/242/300)

Tabla II.4 Tabla de limitaciones de almacenamiento de herramienta

II.4.3 Limitaciones en la forma de la herramienta

a61

A. Herramientas 40/60

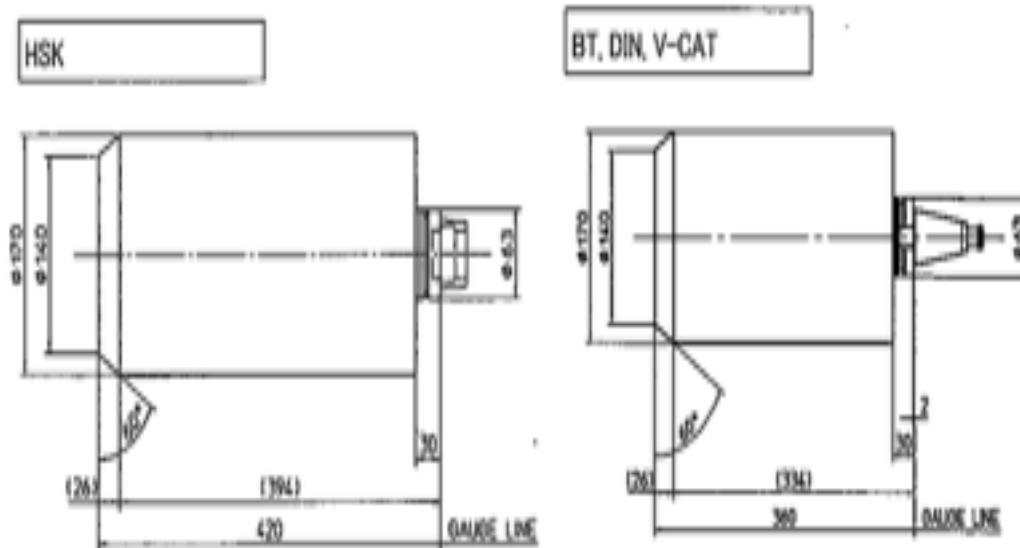


Figura II.9 Limitaciones en la forma de las herramientas.



B. En el caso de herramienta-134 el tamaño de la herramienta almacenable varía dependiendo de las posiciones en el rack.

» "8.5.3 a51/a61 (HSK, BT, herramientas 134)"

C. En el caso de herramienta-219 el tamaño de la herramienta almacenable varía dependiendo de las posiciones en el rack

» "8.5.4 a51/a61 (HSK, BT, herramientas 219)"

II.4.4 Diseño de la herramienta

a51/a61 (Herramientas 40/60)

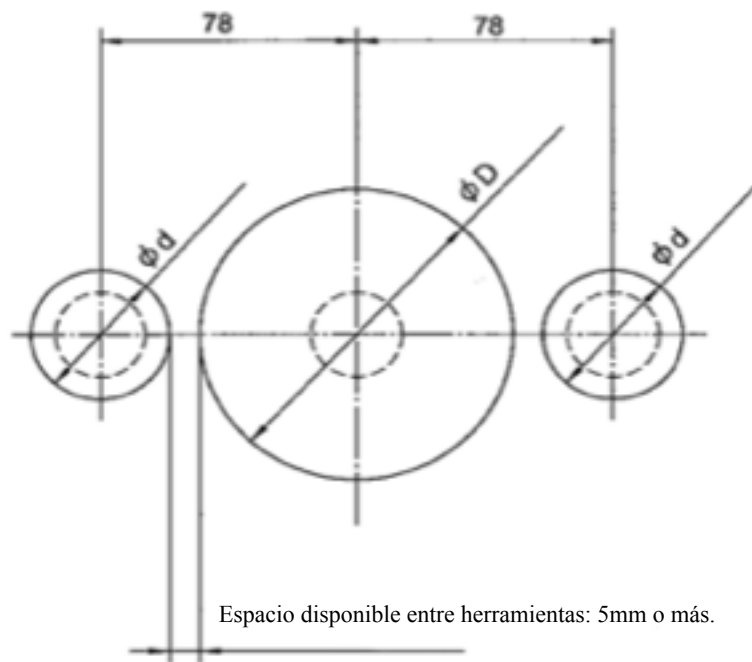


Figura II.10 Diseño de la herramienta (a51/a61)

Donde d y D son los diámetros de las herramientas localizadas adyacentes a cada una en el cargador.



Cantidad de almacenaje	40/60
Distancia entre herramientas (L)	78mm
Diámetro máximo de la herramienta	Ø170mm
Diámetro máximo de la herramienta permitido para montaje continuo	Ø70mm
Relación de posición entre D y d"	$(D + d)/2 < 70\text{mm}$
Peso de la herramienta almacenada	Herramienta-40: 160kg Herramienta-60: 180kg

Tabla II.5 Limitaciones del diámetro/peso de la herramienta

II.5 Restricciones de la pieza de trabajo

Generalmente existen restricciones que se deben seguir para cumplir con el buen funcionamiento del centro de maquinado. Si la pieza de trabajo rebasa las especificaciones, el pallet puede caer dañando la máquina y al operador.

Tamaño	Ø800x1000mm (especificaciones estandar) Ø800x700mm (especificaciones del cargador de triple cubierta del pallet)								
Peso	<table> <tr> <td>Peso</td> <td>Tiempo de cambio del pallet</td> </tr> <tr> <td>500kg</td> <td>8.5 seg</td> </tr> <tr> <td>700kg</td> <td>10 seg</td> </tr> <tr> <td colspan="2">500/700 kg (dependiendo de las especificaciones)</td> </tr> </table>	Peso	Tiempo de cambio del pallet	500kg	8.5 seg	700kg	10 seg	500/700 kg (dependiendo de las especificaciones)	
Peso	Tiempo de cambio del pallet								
500kg	8.5 seg								
700kg	10 seg								
500/700 kg (dependiendo de las especificaciones)									
Centro de gravedad	Dentro del área mostrada en la figura 2.5								

Tabla II.6 Restricciones de la pieza de trabajo (a61/a71)

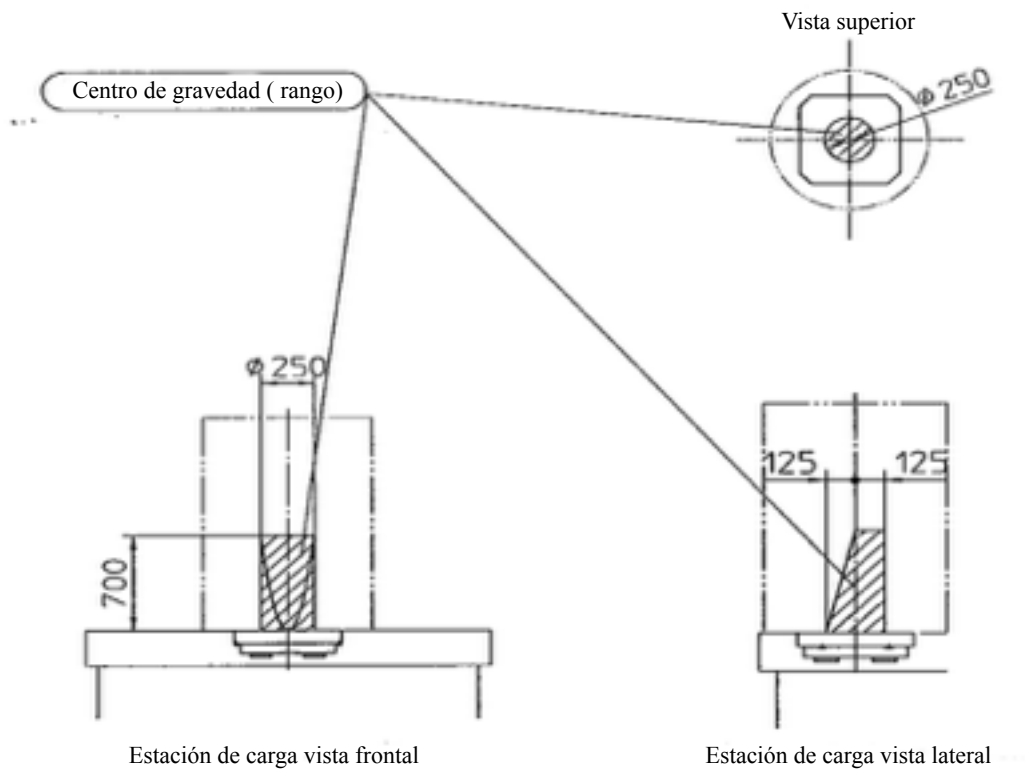


Figura II.11 Restricciones de la pieza de trabajo (a61/a71)

II.6 Panel de operación APC

El panel APC (Automatic Panel Changer, por sus siglas en inglés) consiste en un interruptor que detiene automáticamente el proceso, un interruptor que interrumpe la alimentación, un interruptor de intervención manual y un interruptor o grupo de interruptores de pallet "ready". Algunos de estos interruptores difieren en sus funciones del panel de operación estándar y el panel de operación para la función de asignación automática del programa de cuatro lados (opcional).

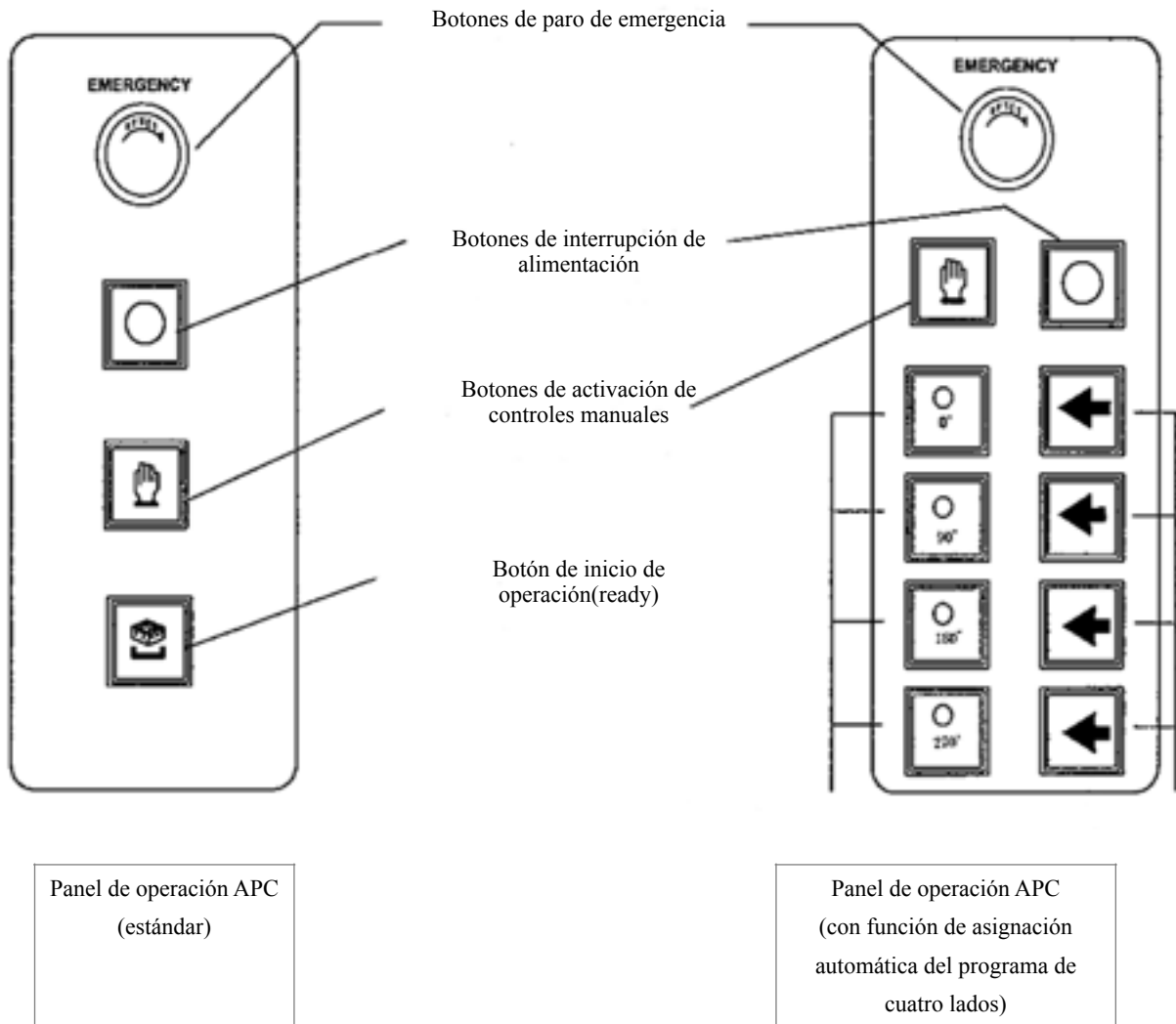


Figura II.12 Panel de operación APC

II.6.1 Cambio de pallet

Los pallets son cambiados automáticamente por el comando APC (M60). El brazo del cambiador de pallets (APC) intercambia el pallet en la mesa en la cámara de operación por el pallet ya preparado de la estación de carga de pallets rotándolos 180°. Una sola operación de cambio de pallet puede ser ejecutada programando un código M60 en el modo MDI.



Los cambios automáticos del pallet permiten el funcionamiento continuo el cual se lleva a cabo en el modo de operación aleatorio o estándar. Los comandos M60 normalmente se incluyen en el programa de funcionamiento en el modo de operación estándar mientras que en el modo aleatorio no es necesario programar un comando M60 ya que las operaciones del cambio de pallet se ejecutan automáticamente.

El cambio de pallet se ejecuta mediante un M60 cuando las condiciones iniciales son satisfactorias, de lo contrario la alarma de la maquina se activa y la operación no se lleva a cabo.



CAPITULO III.

Descripción de la línea de producción

En este capítulo abordaremos el proceso de manufactura del componente de chasis de la camioneta Journey.

La fabricación de este componente se lleva a cabo en una celda de manufactura especializada, semi-flexible. Está celda es conformada por un grupo de centros de maquinado CNC, equipos de inspección dimensional, dispositivos de sujeción, bandas transportadoras para el manejo de materiales y una estación de ensamble. El proceso está dividido en dos operaciones: maquinado y ensamble.

A través de este capítulo, iremos explicando al lector cada uno de los puntos importantes que se requieren verificar y/o revisar para lograr la calidad requerida en la manufactura de este componente de seguridad. Iniciaremos con la certificación de las material primas.

III.1 Calidad de las materias primas y componentes.

La materia prima utilizada para la manufactura de la parte es hierro nodular SAE J434. De acuerdo con la Sociedad de Ingenieros Automotrices (Society of Automotive Engineers, por sus siglas en ingles), este material tiene que cumplir con propiedades mecánicas y químicas, las cuales son especificaciones concebidas durante la etapa del diseño, las cuales fueron consideradas ya que afectan el desempeño, seguridad y vida del producto.

Cabe mencionar que además de ser requerimientos específicos del cliente, estos requerimientos también son gubernamentales. Ejemplo: Tipos de material, impacto en el medio ambiente, naturaleza química o radioactiva.



La Tabla III.1 muestra las propiedades mecánicas que la materia prima debe cumplir para poder desempeñar su función de diseño, además de brindar la seguridad requerida para su funcionamiento durante la vida útil del producto.

El tipo de acero a utilizar es fundición nodular grado D450, la escala de evaluación de la dureza es Brinell con un rango de 156-217 HBW, la resistencia a la tensión es de 450 MPa, la cedencia es de 310MPa y la elongación es de 12%.

Grado	Rango típico de Dureza	Descripción	Espesor de pared	Resistencia a la tensión		Resistencia a la cedencia		% elongación.
				MPa	Ksi	MPa	Ksi	
D450	156-217 HBW	Ferrítico	<= 20 mm	450	65	310	45	12

Tabla III.1 Propiedades mecánicas del acero D450.

Estas especificaciones deben de ser cubiertas en su totalidad por el proveedor de este material. Esta información se encuentra comúnmente en el certificado de calidad del proveedor.

La imagen I.1 muestra los muñones traseros izquierdo y derecho respectivamente, es así como llega la materia prima procedente de la fundidora.



Imagen III.1 Muñón trasero JC lado Izquierdo y Lado Derecho.



El material que llega a la planta procedente de la planta del proveedor de fundición debe ser inspeccionado para corroborar que cumple con las propiedades mecánicas especificadas en el plano de diseño.

La inspección del material se lleva a cabo siguiendo el procedimiento de pruebas no destructivas desarrollado por el departamento de Calidad, en el cual se examina la apariencia física del material (porosidades que excedan la especificación del plano de diseño, partículas de carburo que puedan afectar la vida útil de la herramienta de corte) y pruebas de dureza.

Esta actividad es desempeñada por el Auditor de Calidad. El procedimiento indica aplicar la inspección a un lote de fundición de manera aleatoria. En el procedimiento también se indica el tamaño de la muestra y el tipo de pruebas a las que debe ser sometida dicha muestra para la aprobación o rechazo del lote completo.

III.1.1 Pruebas de dureza.

El material necesario para la fabricación del componente está hecho de Hierro Nodular SAE J434, esta especificación es señalada por el plano de la pieza que envía el cliente. El material debe cumplir con todas las especificaciones técnicas declaradas por el cliente, tales como dureza, apariencia física, resistencia a la tensión y compresión, fundición libre de impurezas.

El Auditor de Calidad es el responsable de realizar la inspección-recibo de este material, de esta manera se certifica la calidad del material. El material debe cumplir con una especificación de dureza Brinell de 156-217. El área en donde se inspeccionara la dureza del material está indicada en el plano de fundición o en caso de que no se especifique en dicho documento, el cliente y el proveedor deben de ponerse de acuerdo para designar un área en específico y así homologar la inspección de la dureza.

Para la prueba de dureza en el laboratorio de Calidad, se hace uso de un durómetro de escala Brinell con un indentador en forma de esfera con un diámetro de 10 mm, la carga



a usar correspondiente a este tamaño de indentador es formada por un juego de pesas que en conjunto equivalen a 3000 kg. Posteriormente se procede a examinar el diámetro de la huella dejado por el indentador esférico. En base al diámetro de la huella se leen las tablas de equivalencias, disponibles en el brazo del durómetro, para determinar su equivalencia en dureza.

La imagen III.2 muestra la zona de la pieza en donde se debe inspeccionar la dureza, además también muestra cómo debe quedar la zona antes de aplicar la prueba, se requiere de un desbaste ligero el cual se puede conseguir con una muela abrasiva, el objetivo es pulir el área para poder medir el diámetro de la huella del indentador obtenida después de la aplicación de los 3000 kg de presión.

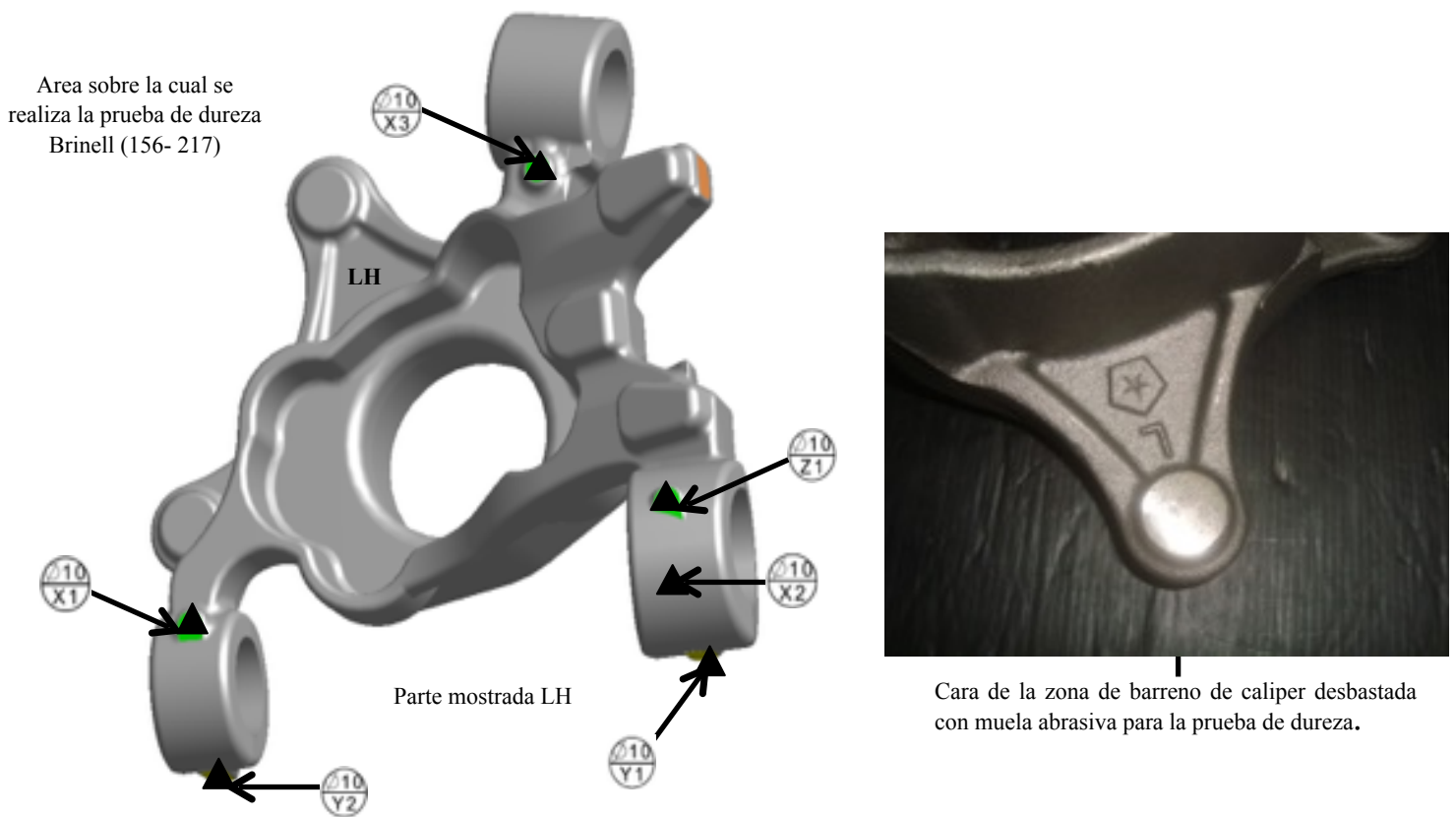


Imagen III.2 Prueba de Dureza



Los triángulos negros en la imagen III.2 señalan la zona de donde se sujeta la pieza, estos puntos se conocen como Datum objetivo, de los cuales hablaremos ya en forma detallada en el capítulo IV de Tolerancias Geométricas.

Después de hacer los desbastes de limpieza en las caras de los barrenos de Calipers, se procede a hacer la inspección de dureza en el equipo de prueba de dureza marca Wilson, el cual se muestra en la imagen III.3 III.4.

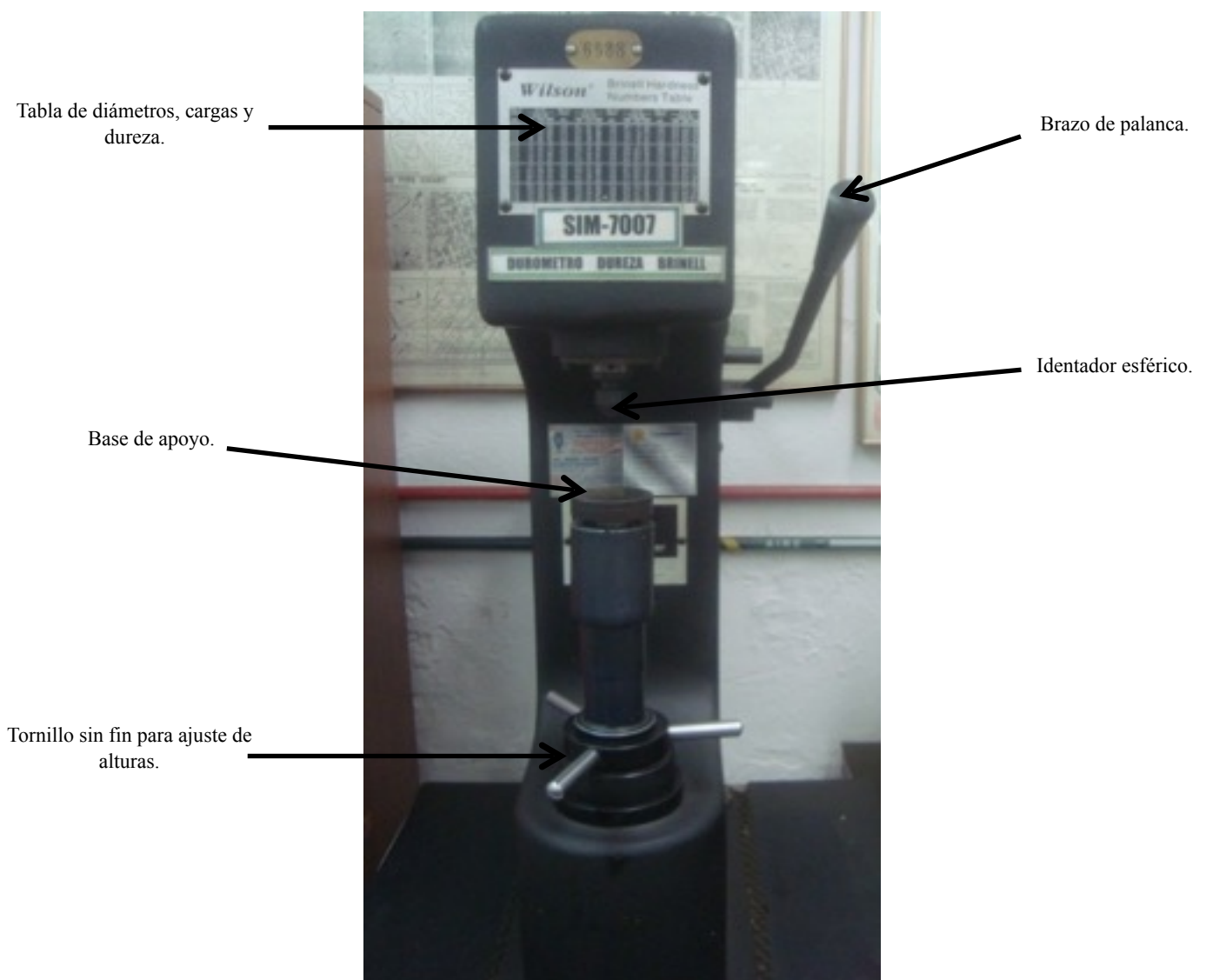


Imagen III.3 Equipo de prueba de dureza marca Wilson



Paquete de pesas Cada una de ellas equivalen a 500 Kg.



Imagen III.4 Cargas de 500 Kg para pruebas de dureza.

Se busca al momento de llevar a cabo la prueba de dureza, que la superficie este lo más plana posible, para evitar una penetración en el material de forma irregular sobre la superficie, de esta manera se evitan obtener datos erróneos.

Se debe colocar la pieza en una base adecuada, para evitar accidentes y lecturas erróneas. Se ajusta el tornillo sin fin para asegurar la pieza. Solo se debe asegurar el contacto de la superficie y el indentador, no se debe apretar con el tornillo sin fin de forma excesiva.

La pieza para la prueba de dureza se coloca de la siguiente manera como lo muestra la imagen III.5



Imagen III.5 Colocación de la pieza en la base del

El siguiente paso es liberar las cargas, esto mediante un ligero empuje hacia el frente al brazo de palanca del durómetro.



Brazo de palanca.

Tope de desplazamiento de cargas.

Imagen III.6 Prueba de dureza.



Una vez que la palanca ha llegado hasta el tope que controla el desplazamiento de las cargas, se procede a regresar la palanca a su posición inicial para después retirar la pieza y así poder examinar el diámetro de la huella obtenida en la superficie.

Para esto, se cuenta con dos lentes de aumento graduadas, diseñadas especialmente para poder observar y medir con claridad el diámetro de la huella dejada por el indentador.

Recordemos que la definición básica de la dureza de los materiales es la resistencia a su penetración, así que deducimos que dependiendo del diámetro de la huella dejado por el indentador, le corresponderá un valor de dureza. Así que para huellas “grandes”, se obtendrán valores relativamente bajos (materiales blandos= maleables), mientras que para huellas pequeñas, se obtendrán valores altos de dureza (materiales duros = materiales frágiles).



Imagen III.7. Lentes de aumento graduadas.



Las huellas obtenidas en las piezas izquierda y derecha se muestran en la imagen III.8.

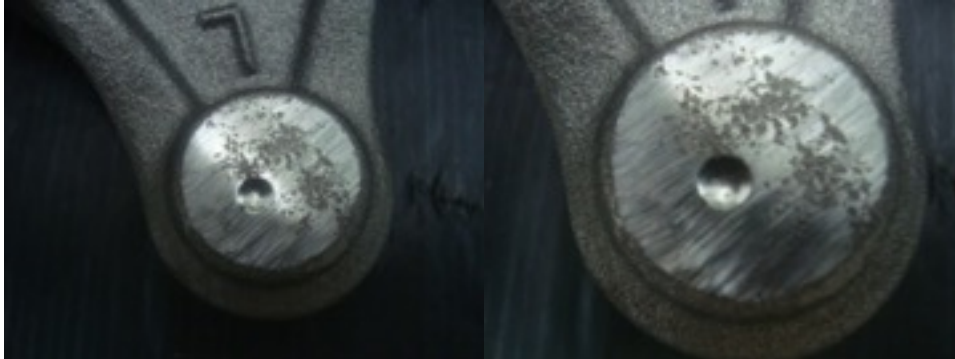


Imagen III.8 Huellas dejadas por el indentador esférico .

Con las lentes de aumento, se mide el diámetro de la huella, con esta lectura se selecciona en las tablas de equivalencias del durómetro la dureza correspondiente. Es importante señalar que el cliente especifica en el dibujo de la pieza, el grado de dureza que la fundición debe cumplir para poder desempeñarse de manera segura en el sistema de suspensión del automóvil. El fallar en esta especificación podría resultar en costos elevados para la compañía que manufactura esta pieza debido a la reducción de la vida útil de las herramientas de corte (mayor grado de dureza del requerido en el diseño), haciendo la pieza frágil, y por consiguiente, sin resistencia adecuada al impacto, lo cual pondría en riesgo la vida del usuario final.

Un grado de dureza menor al de la especificación, provocaría que la resistencia a la deformación de la pieza fuera menor, afectando de igual manera el desempeño del automóvil.

Para tomar las lecturas con las lentes de aumento, se deben colocar la mira sobre la huella dejada por el indentador esférico, después se procede a centrar la regla graduada en el centro de la huella para medir su diámetro, tal y como se muestra en la imagen III. 9.

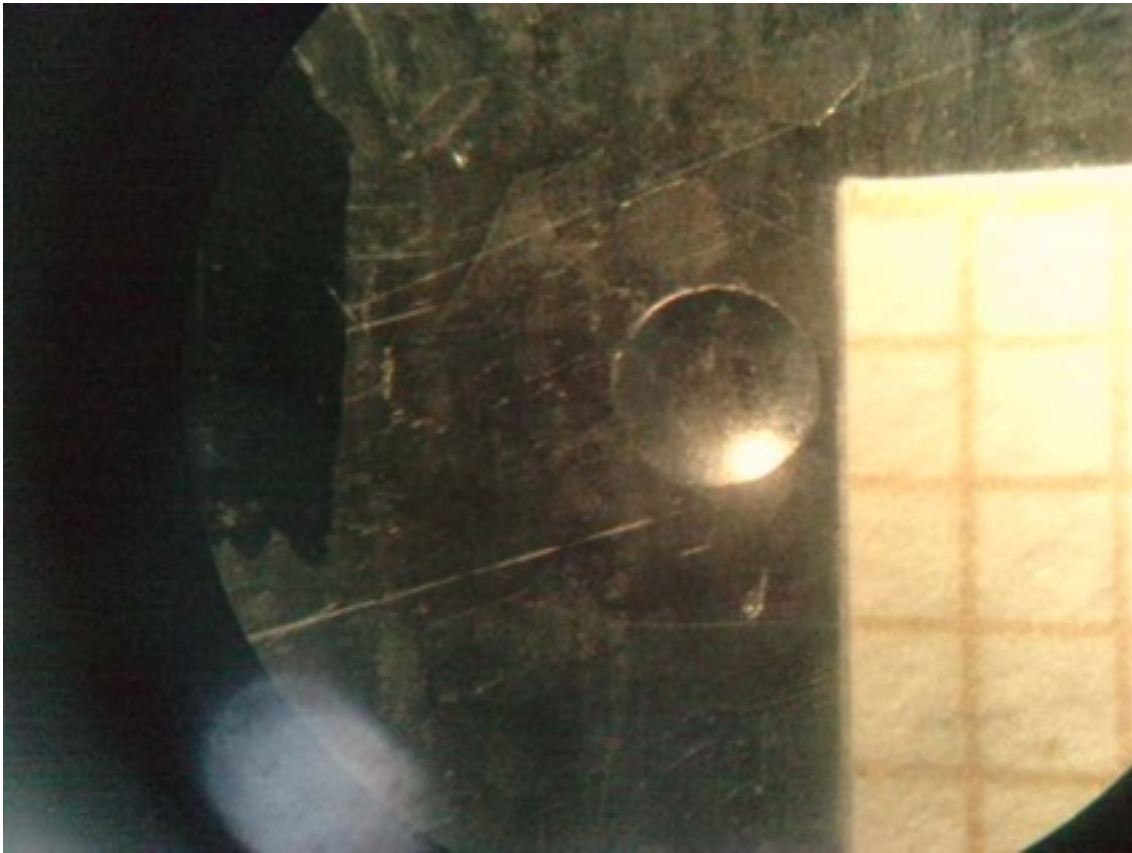


Imagen III.9 Huella vista con la lente de aumento del laboratorio de Aseguramiento de

Después de que el lote fue auditado y aceptado, el material es enviado a la planta del proveedor de pintura, en donde se le dará un proceso de recubrimiento de pintura anticorrosiva, la pintura es un componente químico que le brinda a la parte de fundición protección contra la corrosión y humedad.

Estas piezas se pintan debido a que el automóvil al que pertenecen, es exportado a Europa y Asia, el transporte es vía marítima, la pintura les permite resistir la corrosión de las sales marinas durante el trayecto del viaje. La imagen III.10 muestra un muñón izquierdo pintado, mientras que la imagen III.11 muestra la misma pieza con los maquinados ya realizados.



Imagen III.10 Muñón izquierdo pintado.

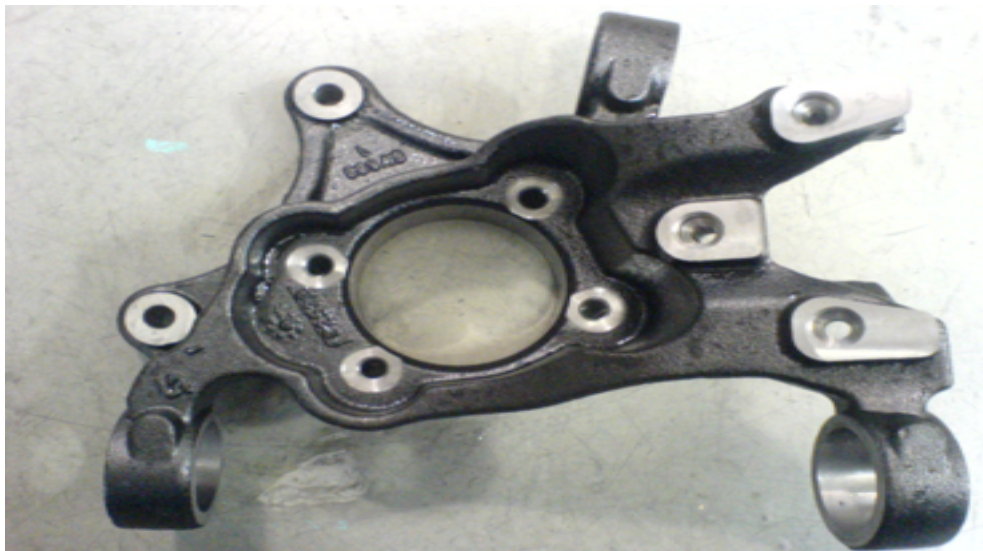


Imagen III.11 Muñón izquierdo pintado y maquinado.

III.1.2 Certificación de los componentes de ensamble.

En esta etapa el Auditor de Calidad procede a verificar las características dimensionales de los tres bujes que se ensamblan en la pieza. El tipo de inspección es dimensional, se



examina con calibrador Vernier y Calibrador de alturas que cada uno de los bujes cumplan con las especificaciones requeridas en el plano de ensamble de la pieza, y el plano individual de los bujes. Si se llegara a encontrar alguna característica fuera de especificación, se rechaza el lote y se notifica al Ingeniero de Calidad para que este a su vez coordine las actividades de contención y notifique al proveedor acerca del problema, así como solicitar el punto de quiebre y acciones correctivas permanentes para asegurar la calidad de sus productos y por consiguiente, asegurar la calidad del ensamble completo.

Los bujes que completan el ensamble son los siguientes:

- Camber Link.
- Toe Link.
- Cross Axis

La siguiente imagen III.12 ilustra la pieza con todos los maquinados y las regiones en donde cada uno de los bujes son ensamblados en cada uno de los diámetros interiores maquinados de la pieza.

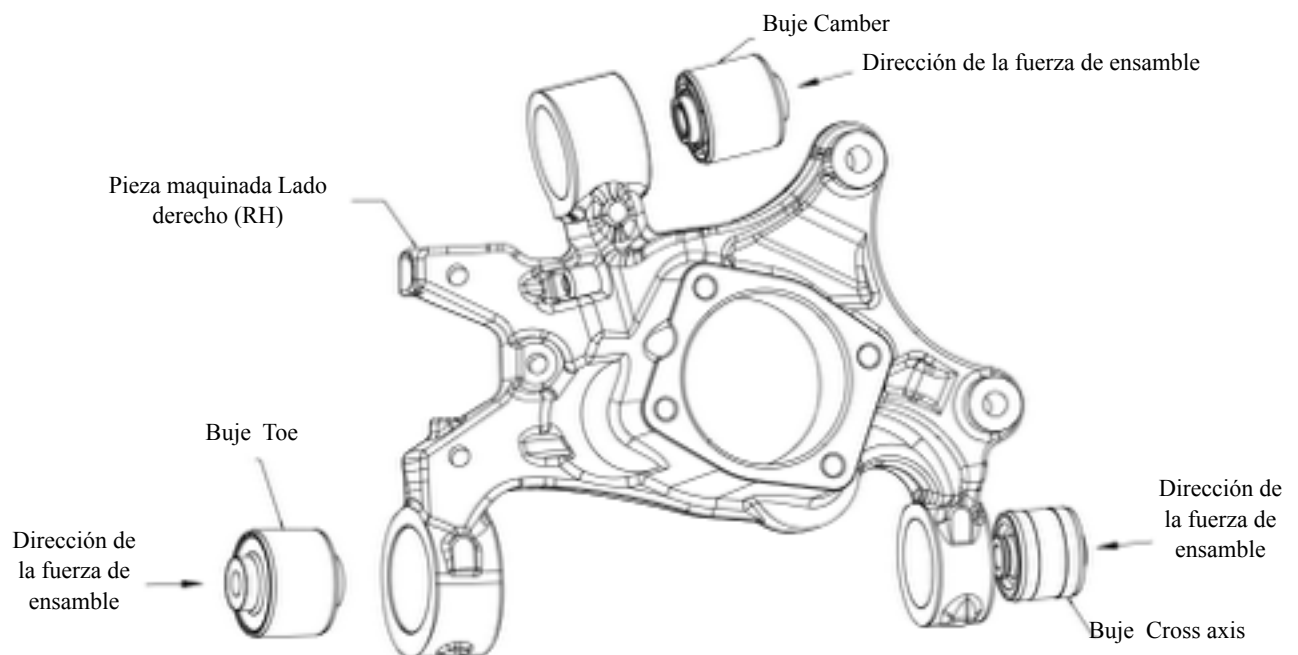
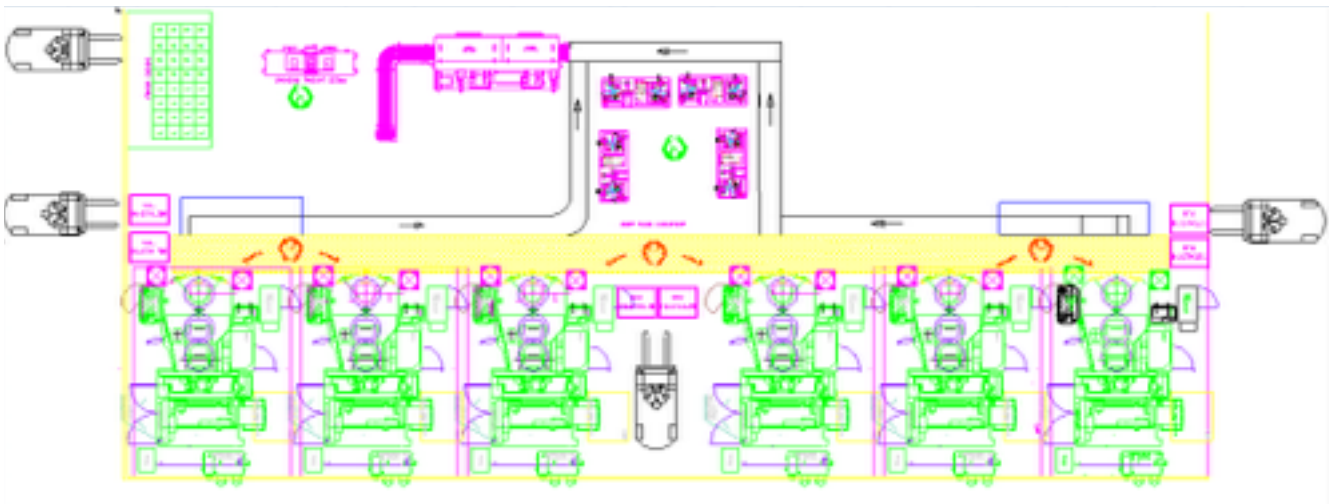


Imagen III.12 Posicionamiento de los bujes de ensamble en la pieza.



III.2 Distribución de la línea (Layout) y flujo de material

La celda de manufactura donde se produce el número de parte JC Rear Knuckle está compuesta por 6 centros CNC horizontales marca Makino A61. Estas máquinas están alineadas a lo largo de una banda transportadora que lleva el material hacia las operaciones posteriores, esto se muestra en el esquema III.1, en el cual podemos ver la distribución de la línea, la entrada y salida del material.



Esquema III.1 Distribución de la línea de producción y área de ensamble.

El departamento de Materiales es el encargado de programar la producción semanal de este componente, para esto, se basa en la demanda requerida por el cliente. Una vez que ha recibido el pedido, programa el número de horas que deberá trabajar la línea de producción, la cantidad de máquinas que se operaran y el número de operadores necesarios para cumplir con la cantidad requerida por el cliente en tiempo y forma.

La materia prima es llevada del almacén de materia prima a la línea de producción a través de un montacargas, se necesitan tres contenedores de fundición de piezas izquierdas y tres de piezas derechas para poder abastecer a todas las máquinas de la celda de producción cada determinado tiempo.

Estos contenedores son colocados en áreas especialmente designadas, que facilitan la carga y descarga de material de las maquinas, reduciendo el esfuerzo físico necesario



del operador al acortar distancias de traslado de material y reduciendo el tiempo muerto entre cada carga y descarga de las máquinas.

En base a un estudio de tiempos y movimientos que permitió eliminar las actividades que no agregaban valor a la operación, reducir tiempos muertos, de espera y de traslado de material, además de un adecuado balance de operaciones, se colocó un operador para atender dos máquinas simultáneamente.

Al llegar el operador a su área de trabajo, primero debe encender la máquina, se debe de asegurar de llevar la máquina y sus sistemas de sujeción a las condiciones iniciales de trabajo, desde donde se iniciara la secuencia de maquinado del programa CNC.

III .3 Diagrama de Flujo del proceso.

El diagrama de flujo incluido en los anexos de esta tesis muestra cada una de las etapas que comprenden el proceso de fabricación de esta parte, las operaciones que conforman el proceso de manufactura, el flujo de material, las áreas de inspección y el personal necesario para que la línea opere en condiciones óptimas.

III.4 Dispositivos de sujeción y maquinado de la pieza.

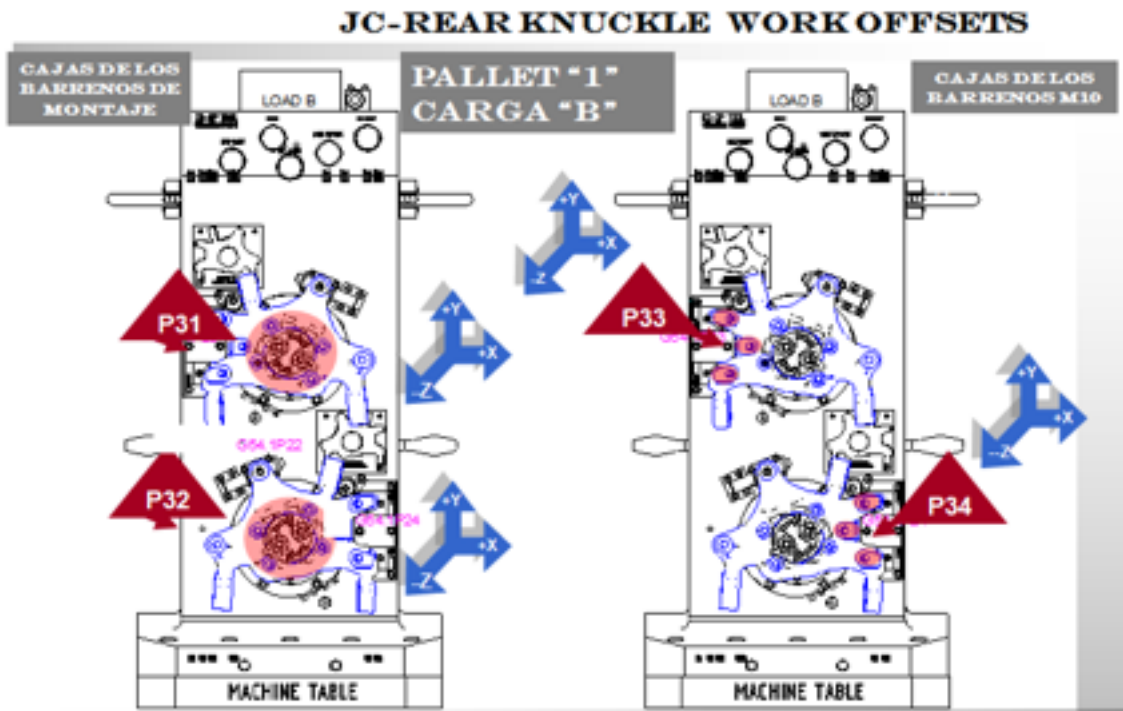
Los sistemas de sujeción son llamados “fixtures”, los cuales son sistemas neumáticos-hidráulicos diseñados para sujetar la pieza firmemente, evitando la vibración y los desplazamientos de los maquinados. Estos van montados sobre mesas giratorias, componente esencial del centro de maquinado. Es importante aclarar que dependiendo de la complejidad de la pieza y el número de pasos o secuencias de maquinados necesarias para producir una pieza completa, dependerá el diseño y forma del fixture, el cual pertenece al cliente, es decir, el cliente paga por su diseño, la empresa manufacturera compra el equipo y lleva a cabo todo el desarrollo de los métodos, controles, programas CNC y toda la documentación necesaria para producir dicha pieza.

Los fixtures están divididos en “pallets”, los cuales cumplen con la función de sujetar la pieza en determinadas posiciones para su procesamiento.



En el caso de esta pieza, su fixture está compuesto por el pallet 1 y pallet 2 montado sobre una mesa giratoria. La secuencia de maquinado se encuentran dividida en cargas. Cada carga posee un punto de referencia llamado work offset, el cual es el punto cero o “home” del bloque de código correspondiente que ejecuta un maquinado determinado.

El pallet 1 contiene las cargas B y C respectivamente como se muestra en el esquema III.2.



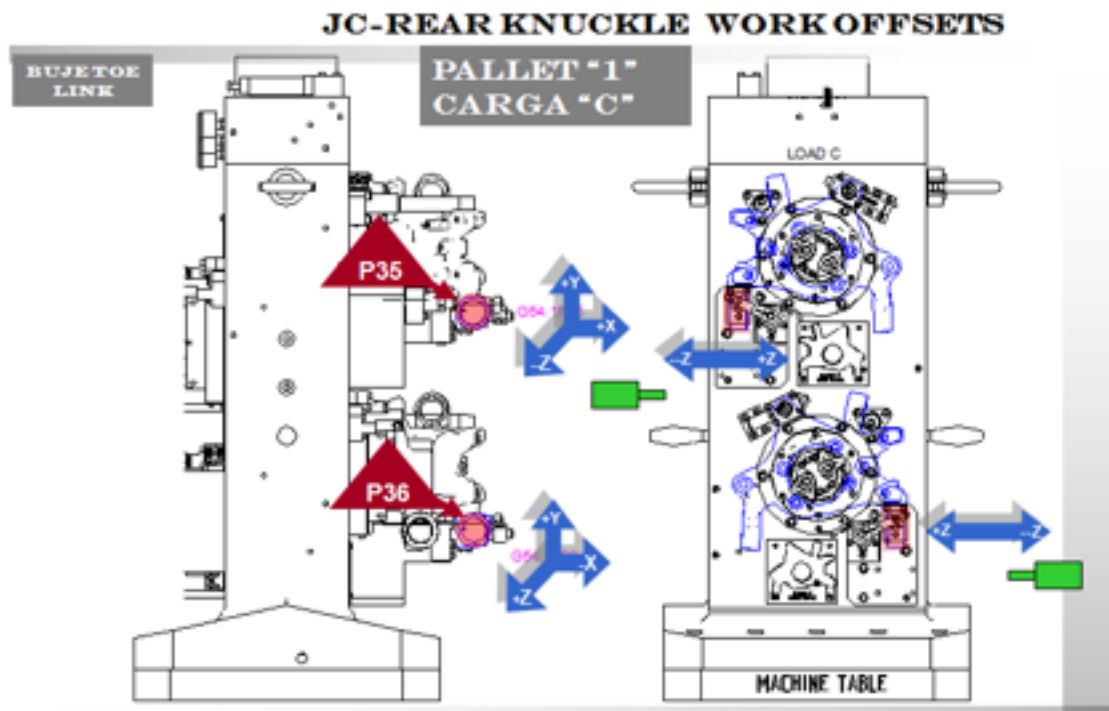
Esquema III.2 Pallet 1, carga B.

En la carga B se lleva a cabo el maquinado de las cajas y barrenos pasados de montaje. Es en esta parte donde va ensamblada la masa giratoria sobre la cual ira montada la balata y rin de las llanta traseras del vehículo. Los birlos que se utilizan para el montaje de este elemento son de 10 mm de diámetro. Los puntos de referencia o home para el maquinado de estos barrenos pasados y sus respectivas cajas son el P31 para la parte izquierda y P32 para la parte derecha en el bloque de programación correspondiente.



Se gira 180° el pallet con ayuda de las manijas presentes a los costados para acceder a la segunda carga B del Pallet1, la cual corresponde al maquinado de los barrenos pasados M10 y sus correspondientes cajas. Los puntos de referencia de la secuencia de maquinado son el P33 para la pieza de lado izquierdo y el P34 para la pieza de lado derecho.

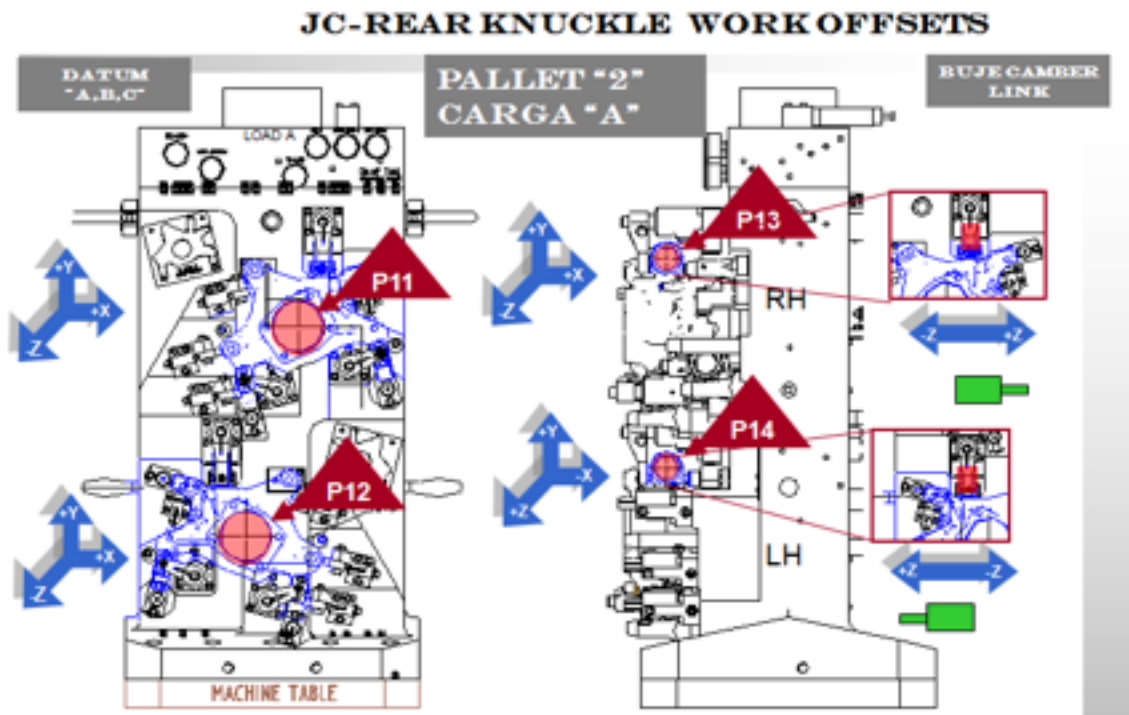
En la carga C se lleva a cabo el torneado interior y rimado del diámetro del Buje Toe en la pieza izquierda y derecha con los work offsets P35 Y P36 respectivamente, el esquema III.3 nos muestra en donde se encuentran localizados los work offset P35 y P36.



Esquema III.3 Pallet 1 , carga C.



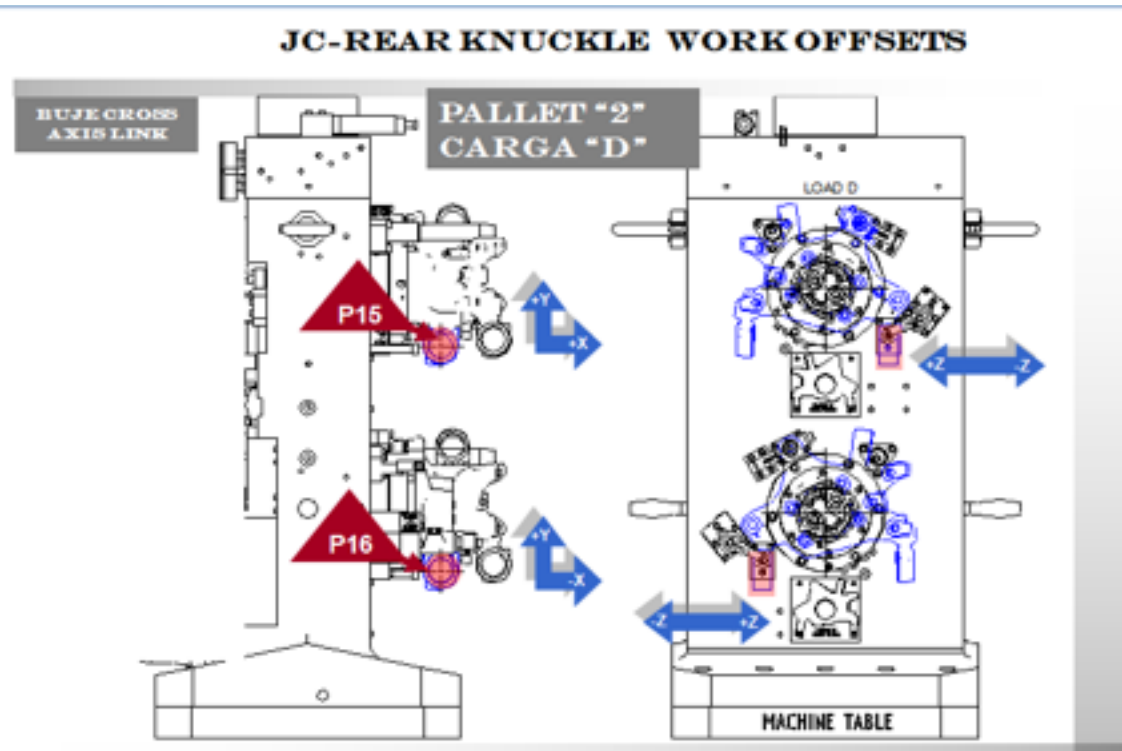
El pallet 2 contiene las cargas A y D respectivamente como se muestra en el esquema III.4



Esquema III.4 Pallet 2 , carga A.

En la carga A del Pallet 2 giratorio se lleva a cabo el torneado interior y rimado de diámetro en donde va montada la masa giratoria, el careado de la parte posterior de esa área llamado Datum B y el careado frontal de esa misma área llamado Datum C tomando como punto de referencia P11 para la pieza izquierda y P12 para la derecha. (Se dará una explicación más a detalle sobre el significado de datums en la sección de Tolerancias Geométricas y descripción del plano de la pieza).

Por último en la carga D se lleva a cabo el torneado interior y rimado del diámetro de buje Cross axis usando los puntos de referencia P15 y P16 para la pieza izquierda y derecha. El esquema que muestra la posición de los work offset P15 y P16 es el esquema III.5.



Esquema III.5 Pallet 2 , carga D.

El operador debe asegurarse que los fixtures este limpios y libre de rebaba, alinear los ejes de referencia para cada una de las cargas en los pallets 1 y 2 antes de iniciar con el ciclo de maquinado en CNC.

En cuanto a parámetros de proceso, la revisión del nivel de aceite hidráulico en las unidades de los centros de maquinado es vital, ya que si alguna de estas unidades llegase a fallar o a presentar un nivel de aceite no optimo, habría una baja de presión en los sistemas de sujeción y por lo tanto maquinados vibrados, desplazados o con pésimo acabado superficial.



El nivel de soluble para la refrigeración de las herramientas y el correcto maquinado de las piezas es muy importante. El operador debe verificar que se cuenta con soluble limpio, de buena viscosidad y concentración. Las velocidades de corte y avance ya están incluidas en cada uno de los bloques de programación, a los cuales el operador no tiene acceso o privilegios para modificarlas.

Existen otros parámetros que el operador si puede modificar, uno de ellos auditable, el cual es el avance rápido. El avance rápido en la velocidad a la que se mueve el husillo que sostiene al porta-herramientas y a la herramienta en sí. Su movimiento depende de los puntos cero (work offset) de cada uno de los bloques de maquinado. Su manipulación afecta directamente el tiempo ciclo del maquinado. Otro parámetro que el operador puede modificar son las compensaciones de herramienta, las cuales se llevan a cabo cada vez que el operador reemplaza una herramienta cuya vida útil ha terminado. Esta actividad usualmente se lleva a cabo antes de iniciar el turno correspondiente. Es un requisito fundamental que los operadores antes de empezar a ajustar sus ciclos de maquinado cambien aquellas herramientas que ya han llegado al límite de su vida útil. Esto implica ajustes en el posicionamiento de la herramienta para iniciar el corte, ya que su geometría ha cambiado, se debe ajustar el volumen de desbaste, ya que se pueden dar dos casos:

- 1.- Que la herramienta este haciendo un desbaste excesivo, dando como resultado piezas fuera de especificación ó;
- 2.- Que la herramienta no esté desbastando lo suficiente o requerido, especificado en las especificaciones de las hojas de instrucción- inspección.

Para eficientar el proceso, se ha colocado un operador extra en la línea llamado “operador flotante”. Este operador tiene como función principal la validación de las primeras muestras de cada una de las máquinas de la línea de producción a través de la medición de todas las característica especificadas en las hojas de proceso, los datos obtenidos se registran en gráficos de medias y rangos, además de usar registros de inspección con frecuencia definida (a principio y a mitad de turno), los cuales son evidencia objetiva para los clientes de que se está controlando el proceso.



CAPITULO IV

TOLERANCIAS GEOMETRICAS,FUNDAMENTOS E INTERPRETACIÓN DEL PLANO DE LA PIEZA.

En este capítulo se hablara del origen del sistema de Tolerancias Geométricas, sus definiciones básicas y fundamentos, además de que se expondrán algunos ejemplos ilustrativos para llevar de la mano al lector hacia el entendimiento de esta importante herramienta.

Posteriormente, expondremos el plano de la pieza de la que trata esta tesis, cada elemento de este componente será explicado y analizado usando los conocimientos previamente presentados.

IV.1 Importancia del sistema de Tolerancias Geométricas en la industria automotriz.

En el diseño de partes y componentes mecánicos metálicos y plásticos, hasta hace algunos años era muy complicado para las industrias automotrices comunicar, a través del plano del diseñador, las características que cierto componente debía cumplir. Este problema se transmitía a todos los niveles de la cadena de suministro para el ensamble del vehículo, ya que no existía un sistema homologado para poder entender que es lo que el diseñador plasmaba en el plano, dificultando para el sector de manufactura entender que requisitos debía cumplir el producto que se disponía a producir, de esta manera era difícil controlar el proceso y fabricar piezas con variaciones mínimas entre una y otra con respecto a las especificaciones del diseño, y el punto más importante, la validación de estas especificaciones se tornaba muy compleja, ya que volvía complicado encontrar o diseñar un sistema de inspección y validación de las especificaciones.

Para eliminar todo tipo de controversias surge el sistema de Tolerancias Geométricas que ayuda a todo el equipo de la cadena de suministro a entender que es lo que espera el cliente.



IV.2 ¿Qué es GD&T?

Al diseñar una pieza o componente de un sistema mecánico, es necesario que exista correlación entre las partes que lo conforman, esto facilita su ensamble y maximiza su funcionalidad.

Para esto, no solamente es necesario que cumplan con las dimensiones especificadas en un plano, sino que además deben cumplir con relaciones específicas entre ellas, tales como relaciones de posición, de orientación, alineación, etc., a todo este conjunto de requerimientos se le llama especificaciones de ingeniería de diseño.

Las Tolerancias Geométricas se encargan de mostrar estas especificaciones de diseño de ingeniería y funcionalidad en el plano. Una parte podrá cumplir con los requerimientos dimensionales perfectamente, sin embargo, si no cumple con los requerimientos funcionales, es desperdicio sin uso alguno.

Las Tolerancias Geométricas son un lenguaje universal de símbolos utilizados por el diseñador para comunicar los requerimientos de funcionalidad del producto. De esta forma la información fluye en forma clara y precisa a todas las ramas y fases de diseño y fabricación de un componente.

IV.3 Antecedentes de la implementación de las Tolerancias Geométricas.

La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos y la Organización Internacional de Estándares (ASME e ISO por sus siglas en inglés American Society of Mechanical Engineers and the International Organization for Standardization) trabajaron en conjunto para crear un sistema estandarizado de especificaciones para el diseño de partes, un sistema que pueda ser entendido y usado alrededor del mundo. ASME Y14.5M e ISO 1101 son los estándares resultantes de esta investigación que actualmente definen el estándar internacional del GD&T (Geometry Design and Tolerancing por sus siglas en inglés).



A partir de este punto y el resto del capítulo nos referiremos a las Tolerancias Geométricas con su acrónimo en inglés: GD&T.

El GD&T además de ser creado para facilitar la comunicación de las especificaciones plasmadas en un dibujo, asegurándose que será entendido por toda la cadena de manufactura de dicho componente, es una poderosa herramienta de inspección, permitiendo validar la calidad del producto al permitir inspeccionar si dichas especificaciones de diseño, plasmadas en un dibujo, han sido cumplidas durante el proceso de manufactura.

IV.4 ¿Por qué usar el GD&T?

Ya mencionamos que es realmente vital para la funcionalidad de un componente entender sus especificaciones de diseño. A continuación enlistamos algunos ejemplos.

- Cuando el cumplimiento de las características de las partes es crítico para el correcto funcionamiento de un sistema o intercambiabilidad (partes de servicio para reemplazo de elementos desgastados o deteriorados) de las partes que conforman dicho sistema.
- Diseño de sistemas de medición (Instrumentos de medición, galgas pasa-no-pasa, sistemas a pruebas de error (Poke-Yoke), sistemas de referencia (mesas de granito para máquinas de coordenadas).
- Cuando son necesarios sistemas de referencia para validar el cumplimiento de las especificaciones de un sistema de manufactura con la simulación de los sistemas de referencia especificados en el plano (Fabricación de sistemas de posicionamiento de piezas integrados por un conjunto de instrumentos de medición y galgas pasa-no-pasa, el termino en inglés para este tipo de sistemas es fixture).
- Cuando es necesario el uso de software de diseño y manufactura (software de máquinas de coordenadas tales como Calipso y Mastercam para software de manufactura).



- Cuando no ha sido definido un estándar de interpretación de las especificaciones o tolerancias en el diseño de una parte (Con esta estrategia se ahorra mucho dinero al disminuir el desperdicio por la producción de partes no conformes, mejor intercambiabilidad y calidad).

Existen razones muy obvias del porque tiene sentido usar GD&T en los procesos de manufactura. Por ejemplo:

- Se ahorra mucho dinero (El elemento más importante en un negocio).
- Maximiza la producción de partes al proporcionar e indicar tolerancias máximas, las cuales permiten controlar y vigilar el proceso.
- Adapta y asiste a sistemas computarizados de diseño y manufactura.
- Asegura la intercambiabilidad de partes de ensamble.
- Proporciona uniformidad y entendimiento mutuo en el diseño del dibujo de ingeniería y su interpretación, dando como resultado la eliminación de las controversias y confusiones entre el equipo de diseño, manufactura y sistemas de medición y validación de partes.

IV.5 Ventajas de GD&T.

El GD&T representa una importante mejora sobre los métodos tradicionales de dimensionamiento usados anteriormente. GD&T es un lenguaje compacto que puede ser entendido por cualquier persona que ha aprendido a usar y leer los símbolos, además de que este sistema reemplaza las numerosas y confusas notas que eran a menudo usadas para describir las características de una parte.

En base a los lineamientos proporcionados por ASME Y14.5M e ISO, GD&T ofrece gran claridad en el proceso de diseño, permite mejorar los sistemas de referencia de ensamble, mejores métodos de inspección y tolerancias más reales. Al enfatizar cómo están relacionadas las características de una parte, se puede controlar el diseño, ensamble y maximizar la funcionalidad de las partes. Este proceso asegura que partes



que cumplen con los requerimientos especificados pasan el proceso de inspección y las partes malas son detectadas y rechazadas antes de que lleguen con el cliente inmediato (siguiente operación de manufactura), o el cliente final (Planta de ensamble ó usuario final).

Es importante aclarar que muchas de las tolerancias geométricas usadas en GD&T requieren métodos estrictos de inspección que van más allá de las capacidades de Calibradores y Micrómetros convencionales. Es por eso que se sugiere el uso de una Máquina de coordenadas (CMM por sus siglas en ingles Coordinate Measure Machine) para inspeccionar dichas características y sus relaciones entre sí.

IV.6 Fundamentos básicos.

Aquí iniciamos la descripción de las herramientas básicas y símbolos del GD&T, esta es una herramienta muy poderosa no solamente utilizada para la fabricación de componentes automotrices, su poder va más allá, la industria espacial, la defensa, la industria metal-mecánica son solo algunos ejemplos en donde está presente el GD&T. Depende del lector aprovechar esta valiosa información y la descripción del plano que se incluirá al final de este capítulo.

IV.6.1 Sistema de referencia espacial.

Antes de iniciar con el desarrollo de un proceso de manufactura o un sistema de inspección dimensional, es necesario entender cómo se alinea esta parte en un sistema de referencia para su maquinado o medición, es decir, como se imaginó el diseñador que el Inspector de Calidad o el Ingeniero de procesos colocaría la pieza en el sistema de sujeción para su maquinado.

Este sistema de alineación es llamado Marco de Referencia. Consiste en un sistema ortogonal de tres planos, muy similares al sistema cartesiano, en donde se alinea la pieza. Dichos planos imaginarios (simulados por un conjunto de elementos que hacen



contacto con la pieza en los sistemas de medición) cumplen con un objetivo muy específico: cancelar los grados de libertad del objeto, fijándolo en la posición y alineación especificada en el dibujo. En la figura IV.1 Se muestra un sistema ortogonal compuesto por tres planos, cada uno de ellos alineados a los ejes cartesianos, la configuración de los planos A_i , A_h y A_v nos ayudan a determinar la posición del punto señalado por la flecha azul, este es nuestro sistema de referencias y a partir de él se pueden inferir como ya se mencionó la posición y orientación de dicho objeto

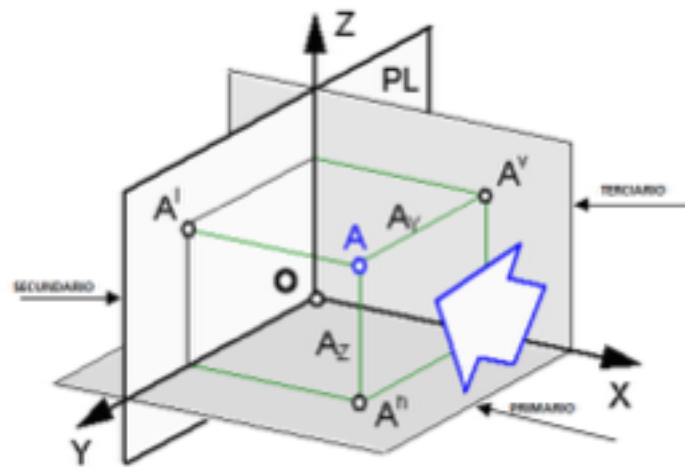


Fig. IV .1 Sistema ortogonal de alineación.

La regla básica de alineación de un componente es:

- Plano primario.- Es el generado básicamente por 3 puntos de contacto, regularmente la parte plana de la pieza, proporcionándonos una superficie base-referencia.
- Plano secundario.- Generado por 2 puntos de contacto, formando una línea.
- Plano terciario.- Generado por 1 punto, que puede o no ser el origen de la pieza.

El dibujo indica cómo se debe de hacer la alineación de la pieza para desarrollar un proceso de manufactura o una inspección es un sistema de medición.

Recuerde compañero lector que un objeto en el espacio posee 6 grados de libertad: 3 rotaciones (1 en el eje X, 1 en el eje Y y 1 en el eje Z), y tres traslaciones



(desplazamientos) sobre los ejes X, Y y Z. El objetivo de nuestros sistemas de referencia es cancelar todos esos grados de libertad para lograr la alineación y orientación requerida.

La regla descrita de alineación aplica para todo tipo de componente, solo hay que saber leer el plano y entender que es lo que está pidiendo el diseñador de la parte.

IV.6.2 Datums y Datums de referencia.

Todas las partes manufacturadas existen en dos estados, el imaginario, geoméricamente perfecto, y el actual, físicamente imperfecto. La alineación de una parte está conformado de varios Datums (puntos de referencia), cada uno de ellos son una forma geométrica perfecta. Un Datum puede ser una línea recta, un círculo, un plano, una esfera, un cilindro, un cono o un simple punto desde el cual es referenciado la localización o característica geométrica de una determinada parte de la pieza. Es el punto de referencia u origen desde el cual se establece la correlación con la parte real.

Los Datums son imaginarios. Se asume que estos son perfectos y exactos con el absoluto propósito de poder ser representados en un modelo matemático a través de un software de diseño, un sistema de referencias establecido para las características del diseño, o del cual las relaciones geométricas de otras características son establecidas.

Al usar Datums como sistemas de referencia, podemos hacer que nuestro sistema de tolerancias del prototipo o diseño tome un nuevo significado. Ahora las características de la pieza pueden ser interrelacionadas entre ellas en términos de forma y localización. Es importante recalcar que los Datums en los dibujos de ingeniería **son perfectos.**

Existe otro tipo de Datum, el cual es definido por la forma real de la parte que se va a dimensionar o inspeccionar, en el GD&T se le conoce como Datum de referencia.



En el proceso de inspección se examina la correlación entre el Datum(perfecto) y el Datum de referencia, en base al rango de variación entre el Datum(perfecto) y el Datum de referencia definido en el diseño, se evalúa el cumplimiento de la especificación. Por ejemplo si se está inspeccionando una superficie plana, lo ideal es un plano paralelo a dicha superficie para examinar la uniformidad de la misma

(planicidad), o si se está inspeccionando un cilindro, el Datum resultante es un eje que paso por el centro del cilindro para revisar su cilindridad, la cual es una tolerancia geométrica que se explicara más adelante.

A continuación en la tabla IV.1 se enlista una serie de Datums comúnmente utilizados en GD&T y la cantidad de grados de libertad que cancela, la línea horizontal indica que no es capaz de cancelar el grado de libertad indicado, mientras que la figura en forma de V indica que si puede cancelar el grado de libertad indicado.

Las letras Rx,Ry y Rz indican rotaciones en cada uno de los ejes del plano cartesiano, mientras que las letras Tx, Ty y Tz indican rotaciones en los ejes cartesianos respectivamente.





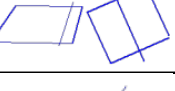
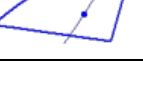
Datum	Tipo de Datum	Capacidad de restricción de grados de libertad					
		Rx	Ry	Rz	Tx	Ty	Tz
	Punto	—	—	—	✓	✓	✓
	Linea	✓	✓	—	✓	✓	—
	Plano	✓	✓	—	—	—	✓
	Punto sobre linea	✓	✓	—	✓	✓	✓
	Linea en un plano.	✓	✓	✓	✓	✓	—
	Punto y linea sobre un plano	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla IV .1 Datums y grados de



El entendimiento de estos conceptos es vital, al momento de estar examinando el dibujo de la pieza, debemos saber interpretar la información que ahí está plasmada. En el plano, el diseñador nos muestra cual es la mejor manera de posicionar la pieza en un dispositivo que simula los Datums de referencia plasmados en el dibujo, esto nos

ayudará para alinear y posicionar la pieza para su maquinado en un CNC o en una base para su inspección por dispositivos de medición por variables, atributos o una sofisticada máquina de coordenadas.

Una interpretación errónea de la alineación de la pieza, conduciría a un valor errático de la característica que se está evaluando, y por lo tanto puede significar una gran pérdida de dinero al producir una gran cantidad de partes no conformes que no cumplen con las especificaciones requeridas por el cliente.

IV.6.3 Datums objetivo (Alineación de la pieza como material a granel).

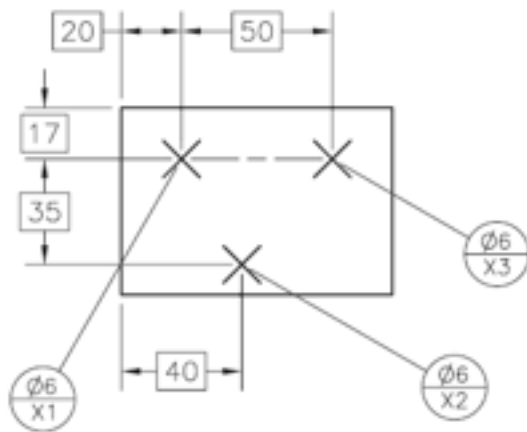
El Datum objetivo es aquel punto, línea o área de contacto entre la pieza y la superficie del sistema de sujeción en un centro de maquinado o un dispositivo de inspección dimensional. Este tipo de Datum nos permite asegurarnos que la parte será colocada o posicionada de la misma manera en las actividades de producción e inspección.

En muchas ocasiones es difícil establecer una superficie de contacto a lo largo de la pieza para hacer la alineación usando la regla 3-2-1, esto es debido a la irregularidad de la superficie con la que se pretende hacer contacto y definirla con un Datum de referencia.

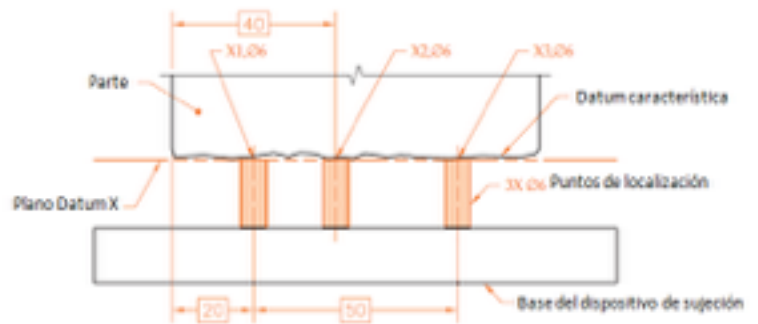
En la figura IV.2 se muestra el símbolo del Datum objetivo, el cual consiste en un pequeño círculo dividido en dos partes por una línea horizontal. En la parte inferior del círculo se coloca el Datum de referencia, en la parte superior se coloca el contorno y tamaño del área de contacto.



Fig. IV.2 Símbolo Datum objetivo.



Esto en el dibujo



Significa esto

Fig. IV.3 Construcción del marco de referencia Datum con Datums

En la figura anterior se muestra un ejemplo de la interpretación de los Datums objetivo, en el dibujo del lado izquierdo, se muestra una figura con los Datum objetivo representados por las letras X1, X2, y X3, posicionadas en la parte inferior del símbolo estándar del Datum objetivo. En la parte superior del símbolo, podemos ver que la forma del área en donde hace contacto en Datum objetivo es un diámetro de 6 mm. En la imagen del lado derecho, observamos la simulación de ese sistema de referencia, los Datums objetivo son simulados por pines, cuya cabeza posee un diámetro de 6 mm, estos pines a su vez, en conjunto forman un plano el cual brinda estabilidad a la parte, este plano es el plano Datum X de referencia.



IV.6.4 Marco control.

Las instrucciones del GD&T contienen una gran cantidad de información acerca de las características que hemos se han descrito hasta este punto. Cada característica está representada en un marco de control que se lee de izquierda a derecha, como un enunciado básico.

La figura IV.4 nos muestra un ejemplo de una figura acotada con GD&T, observamos que además de tener tolerancias lineales para describir distancias de la posición de barreno que esta al centro de la figura, existen 5 marcos de control, en los cuales se colocó una tolerancia geométrica referenciada a un Datum en específico.

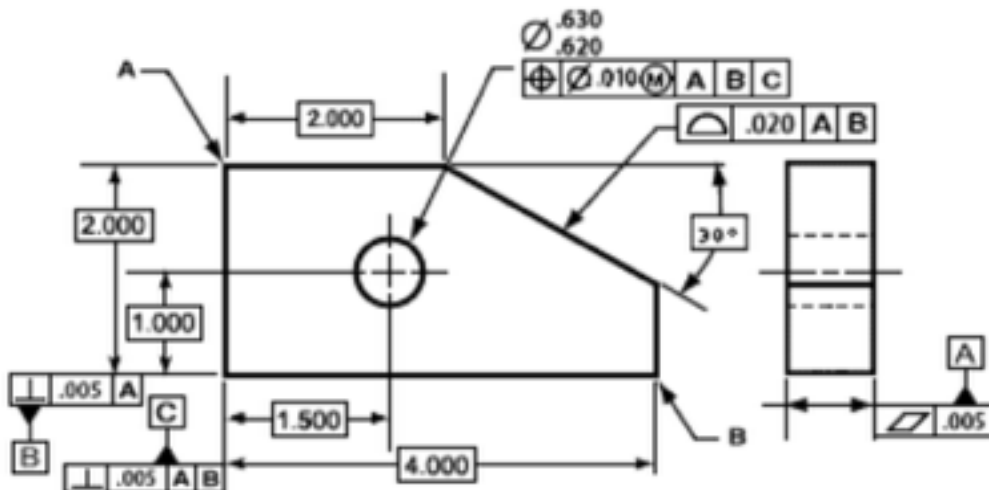


Fig. IV.4 Cada una de las características de una parte está representada por un marco de

El marco de control organiza las instrucciones del GD&T con ayuda de una serie de símbolos que se colocan dentro de una serie de compartimientos o casillas estandarizados. En la figura IV.5 podemos observar un marco de control a detalle, destacando cada uno de sus elementos que lo conforman.

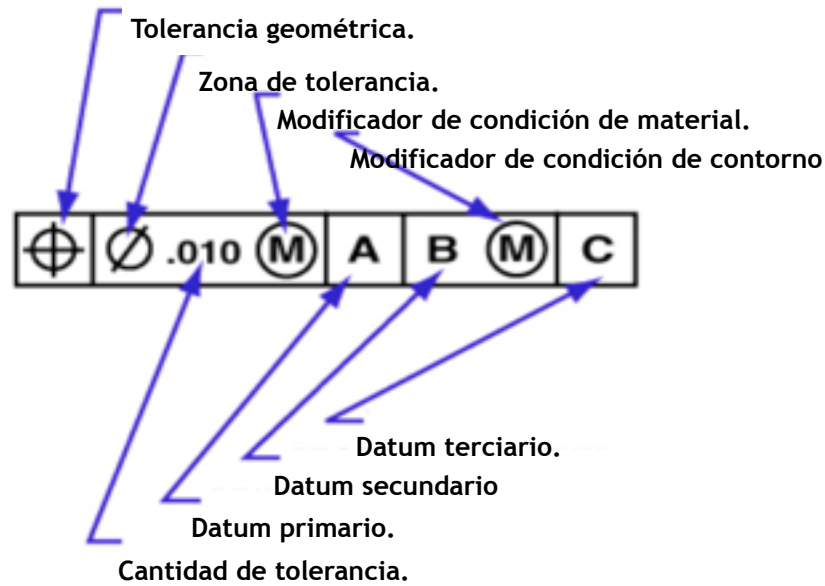


Fig. IV.5 Marco de control.

La primer casilla del marco de control define la tolerancia geométrica de la característica a controlar, usando uno de los 14 símbolos estándar disponibles para tolerancias geométricas (el usado en el ejemplo es el símbolo de tolerancia geométrica de posición verdadera), un segundo marco de control es usado si una segunda tolerancia geométrica está relacionada con la misma característica.

La segunda casilla contiene la zona de tolerancia disponible para la característica a evaluar, con el símbolo adicional de diámetro, el cual indica una zona de tolerancia circular o cilíndrica para este ejemplo. En tolerancias geométricas como el paralelismo y la perpendicularidad, no es necesario un símbolo extra como el de diámetro usado para la posición verdadera. Sin embargo, si existiera alguna condición de modificador de material, el símbolo modificador de material podría M aparecer en esta casilla.

La tercera casilla indica el Datum primario el cual posiciona la pieza en el marco de referencia. Cada tolerancia geométrica relacionada, requiere un Datum primario, sin embargo, tolerancias geométricas independientes, como por ejemplo tolerancias de control de forma, no requieren un Datum Primario.



La cuarta y quinta casilla contienen al Datum secundario y terciario respectivamente, los cuales forman el marco de referencia sobre el cual se posiciona y se alinea la pieza para su inspección o procesamiento en un sistema de manufactura.

Dependiendo de la tolerancia geométrica que se esté aplicando a cierta característica de la parte o pieza y la función de la misma, se puede requerir o no la indicación de los Datums secundarios y terciarios.

Los Datum primarios, secundarios y terciarios, no necesariamente deben de ser designados como A,B y C. Una pieza puede estar referencia por varios Datums y pueden ser identificados como D,E y F ó G,H e I. Sin importar cuál sea la designación, el factor más importante es que si por ejemplo G es colocado en la tercer casilla, automáticamente se convierte en el Datum primario, y será con este Datum con el que se iniciara la alineación de la pieza con la regla 3 - 2 -1 en el marco de referencia Datum.

IV.6.5 Modificadores de condiciones de material.

Los modificadores de condiciones de material son usados en las tolerancias geométricas de manera frecuente. Este tipo de modificadores tienen un gran impacto en la tolerancia establecida para determinada característica. Este tipo de conceptos solo pueden aplicarse a características que especifican tamaño. Algunos ejemplos de estas características son barrenos, ranuras, pines, lengüetas, etc. En el GD&T existen tres tipos de modificadores de material.

Existen 3 tipos de modificadores de material:

- Máxima condición de material (Maximum material condition o MMC por sus siglas en ingles), la cual es representada por una M encerrada en un círculo. Este tipo de modificador de condiciones de material se puede explicar usando el siguiente ejemplo: en la figura IV.6 se muestra un



arreglo de dos barrenos con un diámetro de dimensiones que van 2.5 – 3.0mm en su límite inferior y superior respectivamente, con una tolerancia de posición verdadera de 0.1 mm en su máxima condición de material. Se dice que el barreno está en su máxima condición de material cuando este mide 2.5 mm, es decir, el barreno pequeño más pequeño contiene a su alrededor la máxima cantidad de material posible. Cuando el barreno se encuentra en esta condición, su posición puede estar movida o desplazada de su origen teórico 0.1mm

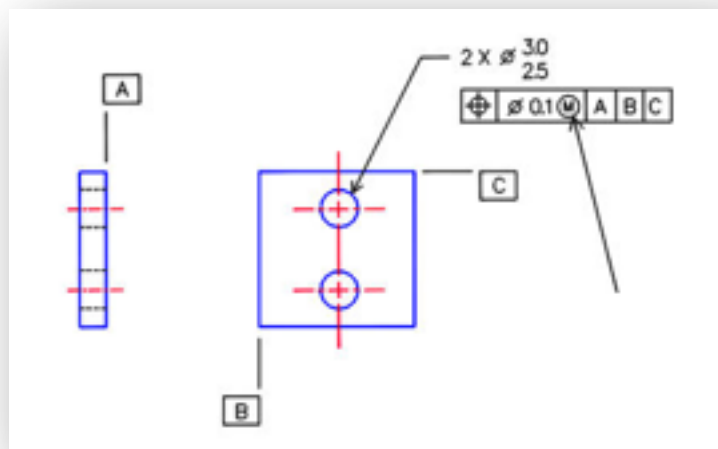


Fig. IV.6 Máxima Condición de material.

- Mínima condición de material (Least material condition o LMC por sus siglas en Inglés), la que a su vez está representada por una L encerrada en un círculo. Volviendo al ejemplo de la figura IV.6, la condición mínima de material se presenta cuando el barreno se encuentra en su valor dimensional mayor posible, es decir cuando el barreno tiene un diámetro de 3mm.
- Indiferencia dimensional (Regardless feature size o RFS por sus siglas en inglés), la cual se representa con una S encerrada en un círculo. Este es un término usado para indicar que una tolerancia geométrica o una referencia a un Datum aplica a cualquier incremento de tamaño de la característica dentro de sus límites de especificación. Este símbolo es muy poco usado en el GD&T, el plano que se va a explicar más



adelante en este capítulo no usa este tipo de modificador de condición de material.

IV.6.6 Tolerancias Geométricas.

Las características de una parte son definidas por tolerancias geométricas de distintos tipos. Estas tolerancias geométricas son divididas en sub-categorías como sigue:

- Tolerancias de forma, las cuales incluyen Planitud, circularidad, cilindridad y rectitud. Este tipo de tolerancias definen características individuales y son relativamente muy simples.
- Tolerancias de perfil, las cuales incluyen el perfil de una superficie y el perfil de una línea. Estas dos poderosas tolerancias controlan varios aspectos de una característica.
- Tolerancias de orientación, definen el paralelismo, perpendicularidad y angularidad.
- Tolerancias de posición, determinan la concentricidad, simetría y posición, siendo la de posición la más común.
- Tolerancias de alabeo u oscilación, son usadas solamente en partes cilíndricas, las cuales son alabeo radial y alabeo axial.

Cada una de estas tolerancias es una tolerancia individual e independiente, una relacionada con otra o ambos casos.

Una tolerancia individual no está relacionada a ningún Datum. Una tolerancia relacionada con otras características, debe ser referencia y comparada contra Datums.

En la figura IV.7 se enlistan las categorías de tolerancias geométricas mencionadas, el símbolo con el cual se representan y tipo o grupo a la cual pertenecen.



	Tipo de tolerancia	Características	Símbolo
Elementos simples (Sin referencia)	De forma	Rectitud	—
		Planitud	▭
		Redondez	○
		Cilindricidad	∕
Elementos simples o asociados	De forma	Forma de una línea	⤿
		Forma de una superficie	⤿
Elementos asociados. (Con referencia)	- Orientación	Paralelismo	∥
		Perpendicularidad	⊥
		Inclinación	∠
	- Situación	Posición (con o sin referencia)	⊕
		Concentricidad /Coaxialidad	⊙
		Simetría (Plano)	≡
	- Alabeo Oscilación	Alabeo Radial.	↗
Alabeo Axial.		↗↘	

Fig. IV.7 Cuadro de tolerancias geométricas.

IV.6.6.1 Tolerancias de forma.

IV.6.6.1.1. Rectitud y planitud.

La rectitud y planitud son controles de forma simples, las cuales regulan el contorno de una característica de manera independiente.

La rectitud es una tolerancia bidimensional. El borde de una pieza debe mantenerse entre dos líneas paralelas imaginarias de tal manera que sea posible cumplir con la tolerancia de rectitud. La distancia entre esas dos líneas es determinada por el tamaño de la tolerancia especificada.

Muchos contornos de objetos pueden controlarse con una tolerancia de rectitud. La mayoría de las partes rectangulares poseen una tolerancia de rectitud, sin embargo, el borde o el eje central de un cilindro también puede requerir de la aplicación de una tolerancia de rectitud.



La figura IV.8 nos muestra un ejemplo de la aplicación de dicha tolerancia, el objeto es un rectángulo bidimensional con tres barrenos en diferentes posiciones. El diseñador definió un control de rectitud de 0.006 mm, o en lenguaje del GD&T, seis micras. En la parte inferior de la imagen, se muestra la forma en la que luciría realmente dicho rectángulo, esto aumentando la resolución de la imagen. Como podemos ver, la pieza no es perfectamente recta, sin embargo, contamos con un criterio que nos permitirá aceptar o rechazar dicha figura, esto es , las 6 micras de tolerancia de rectitud, esta zona de tolerancia nos indica que admitirá una deformidad entre las discontinuidades del contorno de dicha figura no mayor a la especificación.

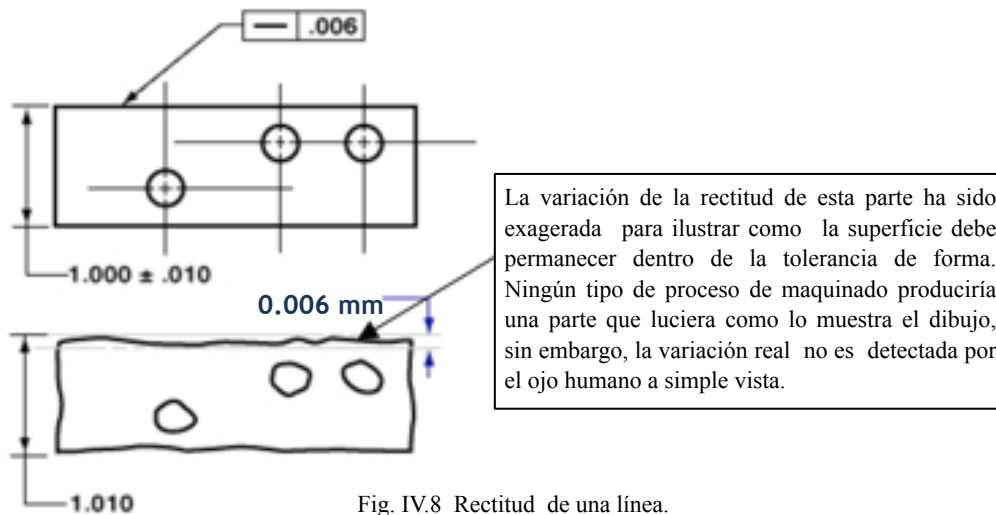
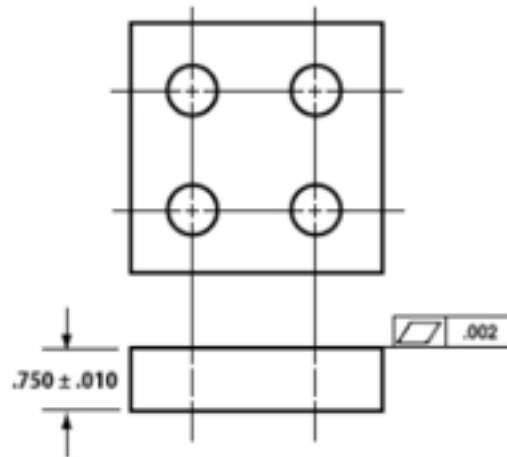


Fig. IV.8 Rectitud de una línea.

La planitud es la versión tridimensional de la tolerancia de rectitud. En lugar de solo usar dos líneas, la tolerancia de planitud requiere que una superficie permanezca dentro de dos planos paralelos perfectos imaginarios. Es útil compararlo la zona de tolerancia con una rebanada de jamón entre dos rebanadas de pan blanco. Nuevamente, en la figura IV.9 el ejemplo usado es un bloque tridimensional con cuatro barrenos en diferentes posiciones. El bloque cuenta con un espesor de 0.750 mm \pm 0.010 y la cara superior de dicho bloque debe de estar plana, admitiendo una discontinuidad de dicha planitud de 0.002 mm a través de toda el área



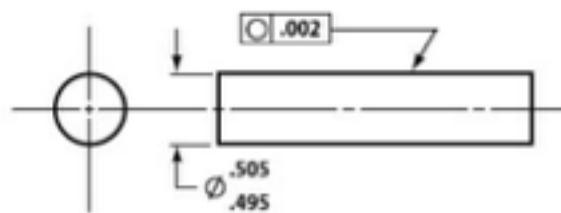
0.002 mm Zona de la Tolerancia.
2 Planos paralelos.



Fig. IV.9 La zona de tolerancia de la planitud es delimitada por dos planos paralelos entre sí.

IV.6.6.1.2 Redondez y cilindridad.

Además de la rectitud y planitud, la redondez y cilindridad completan la lista de las tolerancias de forma. Estas tolerancias controlan el contorno de cuerpos redondos.



0.002 mm Zona de la tolerancia
2 Círculos concéntricos

Fig. IV.10 La Circularidad define la redondez entre dos círculos concéntricos .



La figura IV.10 ilustra el uso e interpretación de la tolerancia de redondez. Este tipo de control de forma es usado comúnmente en cilindros, aunque también puede ser aplicada en conos y esferas. La redondez establece que el contorno de cualquier seccionamiento bidimensional de un cuerpo en teoría redondo, debe estar dentro de la zona de tolerancia formada por dos círculos concéntricos. Como ya lo comentamos en páginas anteriores, es muy difícil que se obtenga una figura geoméricamente perfecta en un proceso de manufactura. De ahí la importancia de tener un criterio de aceptación que me permita juzgar hasta qué punto una pieza, que presenta cierta deformidad, puede ser aceptada o rechazada. La mayoría de los inspectores revisarían múltiples secciones, sin embargo, cada sección debe cumplir con la tolerancia especificada.

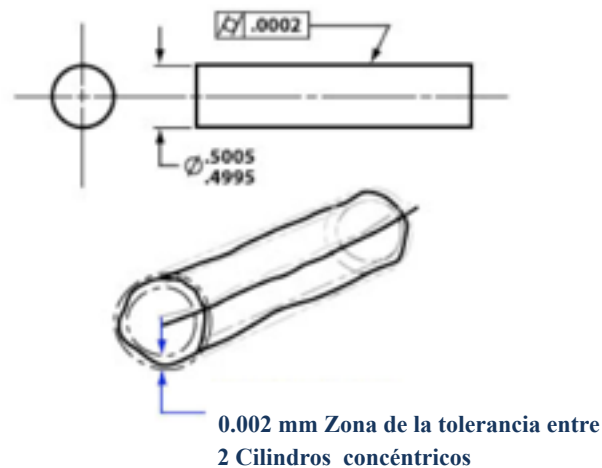


Fig. IV.11 La zona de tolerancia de cilindridad es creada colocando un cilindro imaginario concéntrico al cilindro ideal, este cilindro debe ser más grande que el ideal, en este ejemplo, 0.0002 mm en cualquiera de las condiciones de material.

La figura IV.11 nos muestra un cilindro tridimensional, en donde la pared interna y externa de la sección forman la zona de tolerancia de la cilindridad. Al igual que en la redondez, cualquier sección de dicho cilindro debe cumplir con la tolerancia de forma especificada, es decir no puede exceder las dos diez milésimas que especifica el diseño de la figura IV.11.

La redondez y la cilindridad no pueden ser inspeccionadas solo midiendo varias secciones con un micrómetro de exteriores. La parte debe ser sometida a un movimiento de rotación en un husillo de alta precisión en una máquina de redondez, este es el mejor método para inspeccionar el cumplimiento de dicha especificación.



IV.6.6.1.3 Tolerancia de perfil de una línea y de una superficie.

Las dos versiones de la tolerancia de perfil son el perfil de una línea y el perfil de una superficie. Estas dos útiles herramientas pueden ser usadas para controlar contornos de figuras tales como conos, curvas, superficies planas, superficies irregulares, o cilíndricas. El perfil es simplemente la sombra del contorno de cierta característica proyectada en el plano de un Datum específico. El perfil de línea y de superficie compara el perfil real de la característica contra el perfecto imaginario especificado en el plano del diseño. Este perfil controla la orientación, la localización, tamaño, y forma de la característica. La figura IV.12 muestra un ejemplo de la aplicación de esta herramienta, la pieza en cuestión es una especie de ovoide con un lado en terminación recta, de largo tiene 1 mm y de ancho 0.5mm, los Datums A y B están alineados a X y Y respectivamente, es en referencia a ellos que se establece un control de forma, un perfil de 0.006, esto controlara las irregularidades de las superficies planas en X y Y.

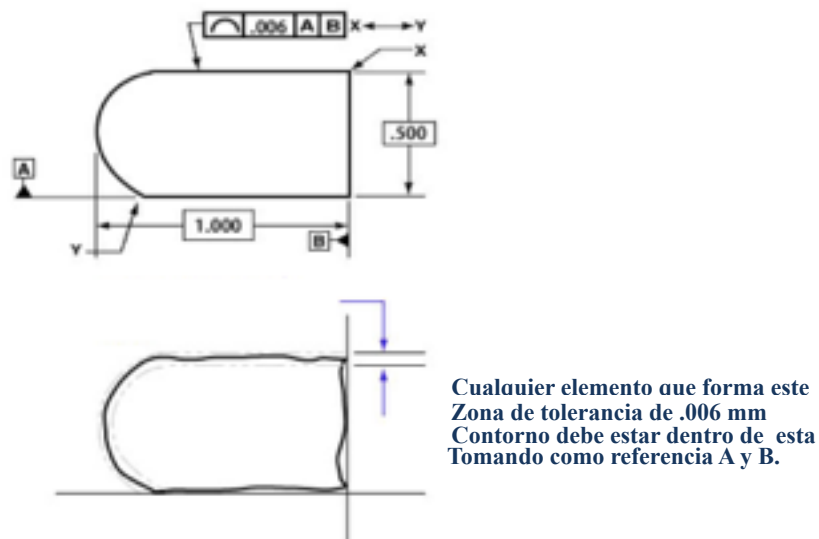
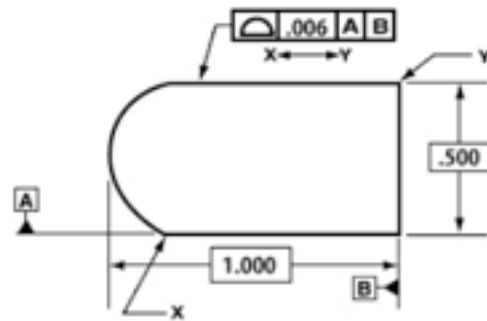


Fig. IV.12 Perfil de una línea.

El perfil de una superficie es una versión tridimensional del perfil de una línea. Es muy a menudo aplicado a superficies con contornos complejos tales como curvas del fuselaje de un avión de combate o la carrocería de un automóvil. Tal y como se muestra en la figura IV.13, la tolerancia especifica que el contorno de la figura debe permanecer en el área de tolerancia formada por dos superficies tridimensionales paralelas entre sí . 006mm. Estas superficies delimitan la forma de la figura.



0.006 mm Zona de la tolerancia
0.003 hacia ambas direcciones.

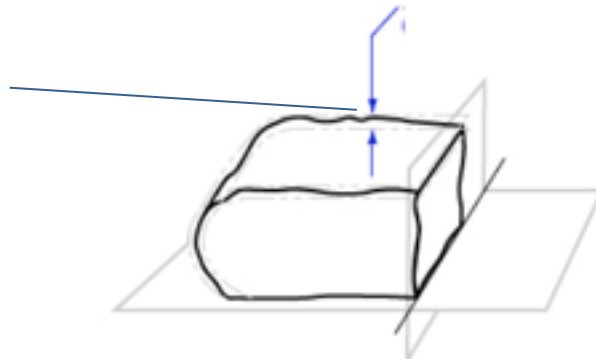


Fig. IV.13 Perfil de una superficie.

IV.6.6.2 Tolerancias de orientación.

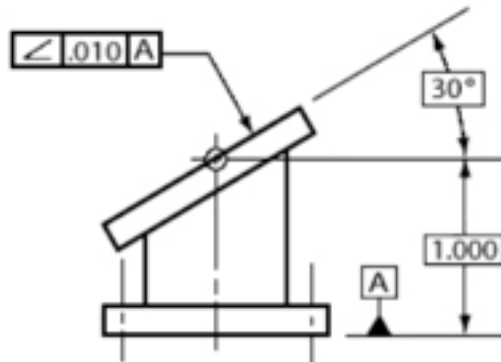
IV.6.6.2.1 Tolerancia de angularidad.

Hasta este punto, hemos conocido el concepto de planitud, la rectitud de las partes o piezas. Ahora examinaremos otro tipo de relaciones que guardan las características de una figura o pieza entre sí. Tres de estas relaciones son llamadas en el lenguaje del GD&T tolerancias de orientación. Estas son angularidad, perpendicularidad y paralelismo.

La figura IV.14 nos muestra un arreglo mecánico el cual consta en una base apoyada en una superficie plano y otro similar pero colocada un poco inclinada a 30° sobre la parte superior del cuerpo.



La tolerancia le indica quien lea el plano que dicha base puede girar .005 mm en sentido horario o anti horario a partir de su posición ideal de 30°, es decir se admite una pequeña desviación del modelo original. Nuevamente, la zona de tolerancia está formada por planos paralelos a la línea de referencia, la distancia de separación entre planos es de 0.010mm.



Zona de tolerancia de .010 mm dos planos paralelos orientados a 30° con respecto al Datum A

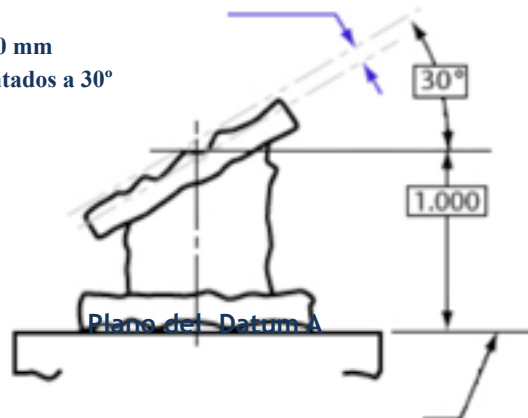


Fig. IV.14 La angularidad define la desviación de una superficie alineada a determinado ángulo, por supuesto referenciada a un Datum en específico.

IV.6.6.2.2 Tolerancia de perpendicularidad y paralelismo.

La perpendicularidad y el paralelismo son también tolerancias aplicadas a cuerpos tridimensionales, sólidos y al igual que la angularidad, las zonas de tolerancia son formadas por planos paralelos entre sí a determinada distancia. Mientras que en el Paralelismo como tal establece que dos superficies de referencia (Datums) deben permanecer paralelas una con respecto de otra a cierta distancia, en la Perpendicularidad



se requiere que una de esas superficies de referencia conserve su alineación a 90° con respecto a la otra, el ángulo de 90° se debe conservar perpendicularidad admitiendo una contracción o expansión de dicho ángulo.

La figura IV.15 ilustra la aplicación de la tolerancia geométrica de Perpendicularidad, la cara derecha de la figura debe conservar una alineación a 90° con una desviación admisible para la contracción o expansión de dicha alineación de 0.005 mm, de esta manera se garantizaría el correcto asentamiento de dicha cara en un elemento de ensamble, por ejemplo una ranura del tamaño de la cara de la pieza. UN simulador perfecto del Datum A de referencia sería una mesa de granito rectificada.

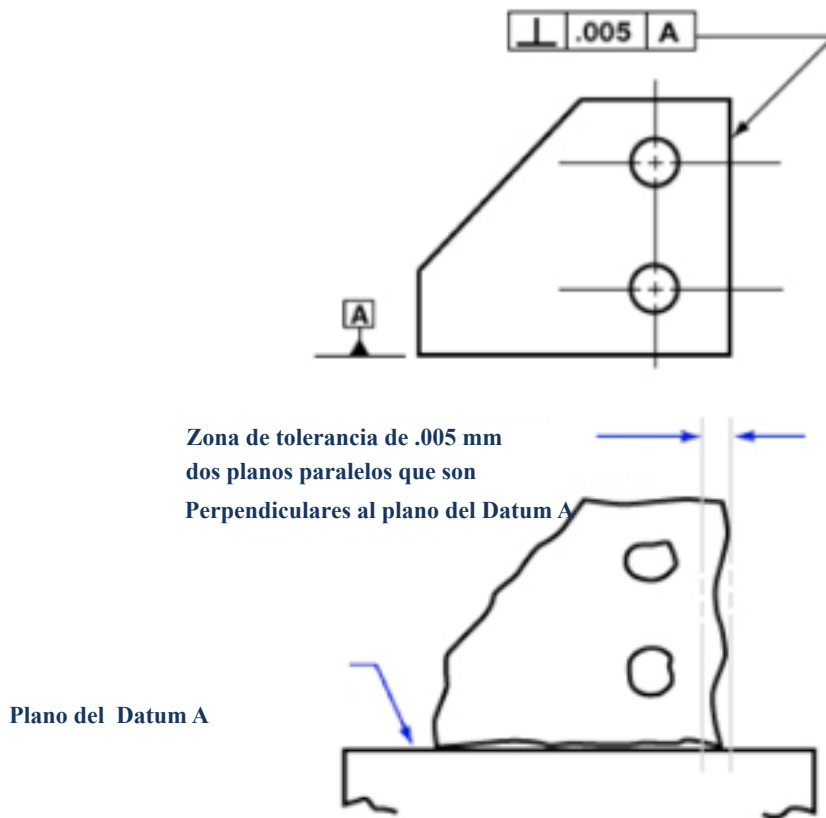


Fig. IV.15 La perpendicularidad define la variación de la alineación a 90°.

A menudo la planicidad y el paralelismo a son confundidas con respecto a las circunstancias en que deben ser usadas. Debemos entender que la planicidad no está referenciada a ningún Datum y se aplica a la superficie que se esté evaluando de manera independiente.



El paralelismo, por otra parte, relaciona la superficie inspeccionada con un Datum de referencia, el cual podría ser una mesa de granito rectificada.

En donde sea que una tolerancia de orientación es aplicada a una superficie plana, esta indirectamente define la planicidad de la característica evaluada.

La figura IV.16 nos ilustra la aplicación de la tolerancia de paralelismo, la zona de tolerancia es formada por dos planos paralelos separados entre si 0.005 mm pero con la diferencia importante que dichos planos son paralelos a un Datum de referencia, el Datum A. Este Datum se puede obtener con un superficie plana rectificada, nuevamente la mesa de granito es la mejor opción.

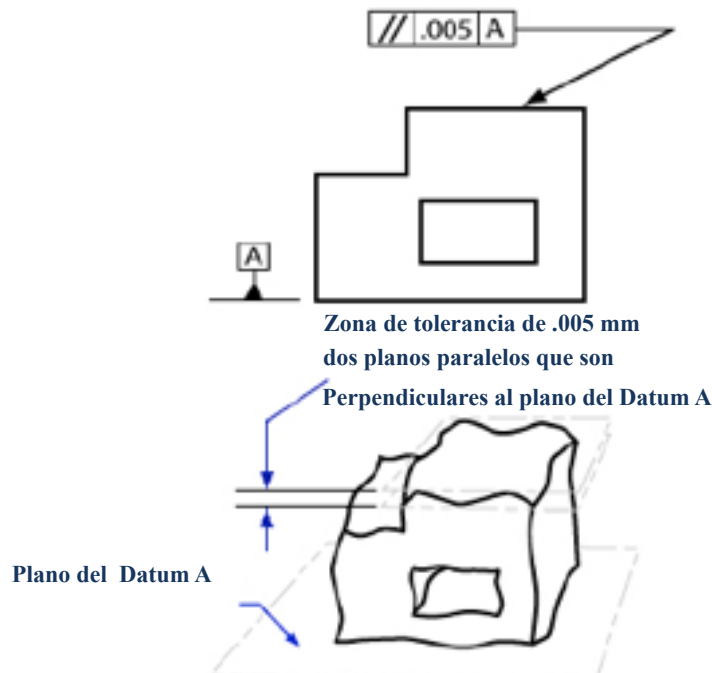


Fig. IV.16 Aplicación de la tolerancia de paralelismo.



IV.6.6.3 Tolerancias de localización (Situación).

IV.6.6.3.1 Tolerancias de posición.

La tolerancia de posición es probablemente la más común de las tolerancias de localización. La exacta, ideal localización de una característica es llamada posición verdadera. La actual localización de la característica es comparada con la posición verdadera ideal e involucra uno o más Datums para determinar dónde debe estar localizada la posición verdadera. La tolerancia de posición es también una tolerancia tridimensional relacionada con otras tolerancias.

Usaremos la figura IV.17 para explicar el uso de esta tolerancia geométrica. En este caso, la zona de tolerancia está definida por un cilindro imaginario de diámetro 0.010mm en condiciones máximas de material, es decir que el eje central de los barrenos debe estar contenido dentro de esta zona de tolerancia cuando el barreno que se fabrica es el más pequeño que puede obtenerse (barrenos con diámetros de 0.529 mm) o en otras palabras, el eje real de los barrenos puede desviarse .005 mm de su eje ideal.

Recordemos que en el apartado IV.6.5 Modificadores de condiciones de material, examinamos el comportamiento de este tipo de tolerancia cuando el cuadro de control se encuentra afectado por modificadores de material o de contorno respectivamente.

La función de los Datum A,B y C es la de neutralizar todos grados de libertad que interferirían en la fabricación de estos barrenos o en la actividad de medición. Todos los Datum involucrados en el cuadro de control son planos, los cuales cancelan dos desplazamientos y tres rotaciones, este razonamiento se obtiene usando la regla de la mano derecha, la cual fue explicada en el apartado IV.6.1 Sistema de referencia espacial.

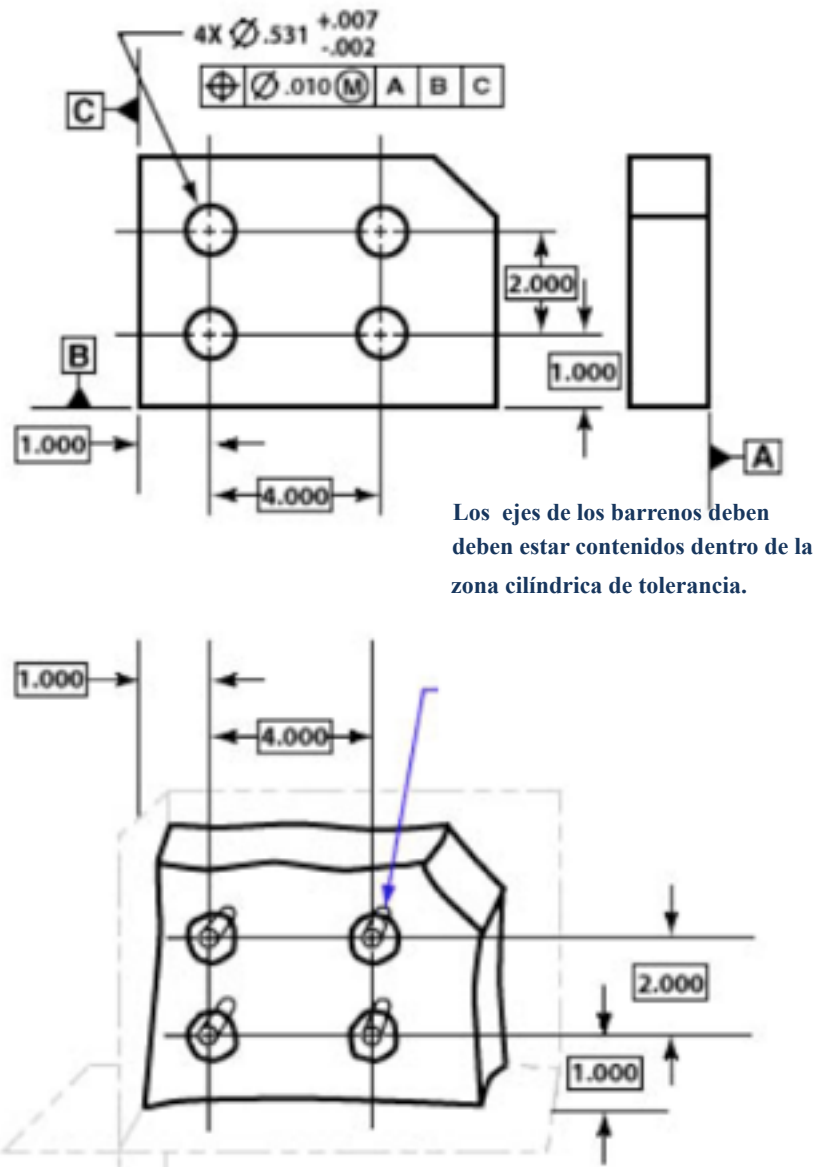


Fig. IV.17 La tolerancias de posición definen la desviación de la ubicación de la posición ideal.

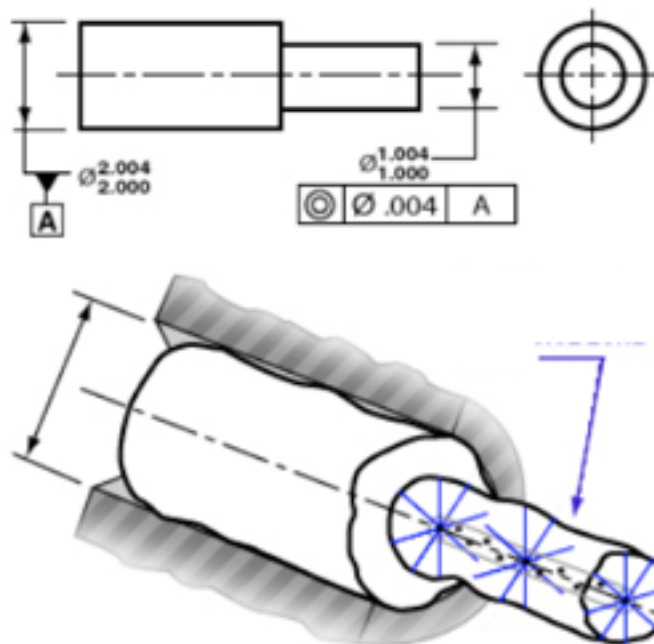
IV.6.6.3.2 Concentricidad y simetría.

La concentricidad también pertenece al grupo de tolerancias geométricas de localización, además de ser tridimensional, no es común que se evalúe dimensionalmente. Esta tolerancia también relaciona uno o más Datums como referencia. En la figura IV.18 se muestra que la concentricidad es utilizada para comparar dos o más cilindros y asegurarse que comparten el mismo eje central o de origen.



El proceso debe ser ejecutado a través de la inspección de varias secciones , en donde por cada sección se obtendrá un punto ,el cual es la media aritmética del grupo de puntos pertenecientes a un segmento inspeccionado, de tal manera que cada promedio de puntos de secciones debe de estar dentro de la zona de tolerancia especificada en el cuadro de control. En el ejemplo que estamos usando, la zona de tolerancia es un cilindro imaginario de 0.004 mm, en el cual todos los puntos promedio obtenidos deben de estar dentro de dicha zona de tolerancia.

El Datum A es el eje del cilindro de 2.000 – 2.004, y se toma de referencia para examinar la concentricidad del cilindro de 1.000 – 1.004 mm. La inspección tomara diferentes secciones del cilindro pequeño, encontrara los centros de dichas porciones en diferentes puntos de contacto, por lo regular son 4 puntos para formar la circunferencia, después se obtendrá el promedio y se examinara su desviación con respecto a la referencia del Datum A.



Los puntos obtenidos de las medias de grupos de puntos que se posicionan alrededor del eje del cilindro, deben estar localizados dentro de la zona de tolerancia.

Fig. IV.18 La Tolerancia de concentricidad inspecciona la localización de los puntos centrales de secciones

La tolerancia geométrica de simetría es muy parecida a la concentricidad, excepto que esta controla características rectangulares e involucra dos planos imaginarios, muy parecido a los planos definidos en la tolerancia de paralelismo, con la diferencia de que estamos comparando la distribución de material con respecto a un eje central u origen.



La figura IV.19 ilustra el uso de esta tolerancia, observamos que se tienen dos bloques, uno más grueso que el otro, el bloque más pequeño debe su centro alineado al del bloque grande, esto se puede inspeccionar fácilmente calculando la distancia de la superficie al centro, en diferentes puntos de contacto del bloque pequeño, esto en ambas caras del bloque, los puntos resultantes deben caer dentro de la zona de tolerancia de 0.005 mm, la cual es formada por dos planos imaginarios ,paralelos entre si y separados uno del otro 0.005 mm

Tanto la tolerancia de concentricidad como la de simetría son difíciles de inspeccionar, haciendo este proceso costoso, ya que involucra el diseño de sistemas de medición más complejos.

Todos los puntos generados por la media aritmética del grupo de puntos que están localizados al centro de ambas figuras deben estar contenidos entre los planos que forman dicha área de tolerancia.

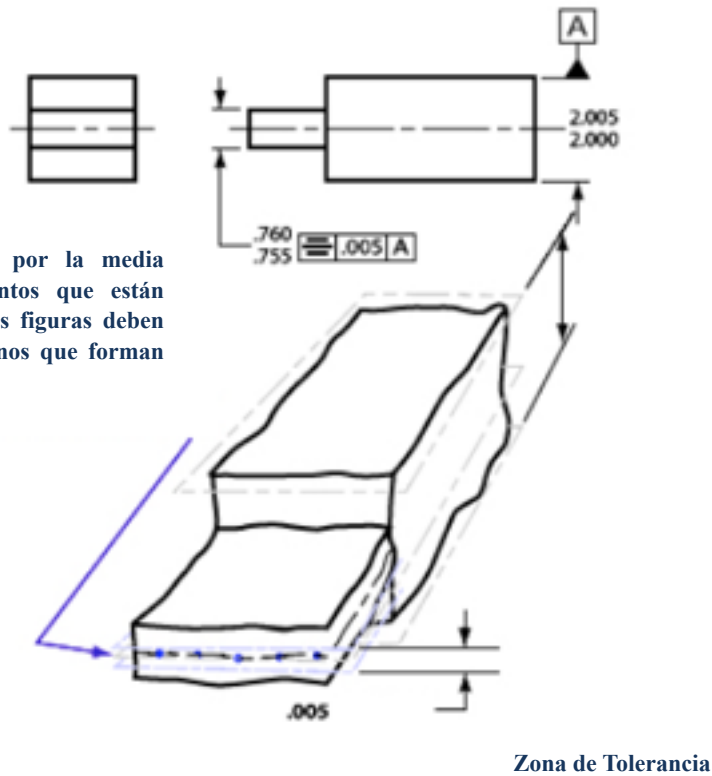


Fig. IV.19 Puntos medios sobre la zona de tolerancia formada por dos planos paralelos controlan la simetría.



IV.6.6.4 Alabeo - Oscilación

IV.6.6.4.1 Tolerancias de alabeo radial y alabeo axial.

Las tolerancias de alabeo (o cabeceo), son tolerancias tridimensionales que son aplicables solo a figuras o partes cilíndricas. Tanto como el alabeo radial y axial interrelacionan una figura con contorno cilíndrico con respecto a su eje central, el cual se convierte en el Datum de referencia para la inspección, simultáneamente, controla la posición, forma y orientación de la característica.

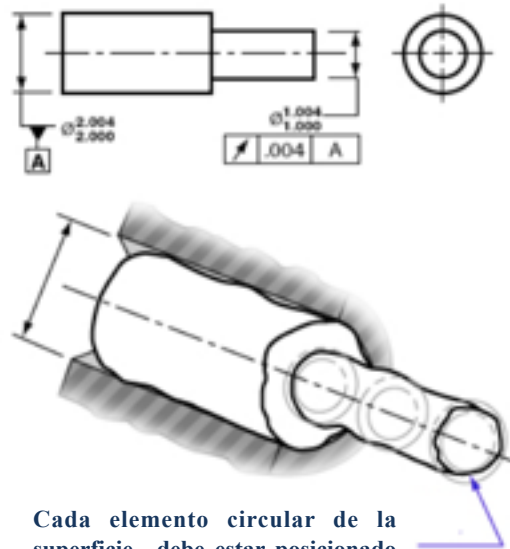
La inspección del alabeo radial se hace en un punto determinado de la parte, para dicha inspección la parte debe ser rotada. Un instrumento debidamente calibrado, el instrumento comúnmente usado para inspeccionar el alabeo es un indicador de carátula análogo o digital el cual está montado a un brazo de una base magnética, es colocado para hacer contacto con la parte en movimiento, el pistón del indicador mostrara la carrera que se desliza tomando como referencia un punto cero, dicho punto se fija al hacer contacto el pistón con la superficie antes de rotar, posteriormente se hace girar la pieza y se procede a leer en el indicador el punto más alto que indique el agua a partir del punto cero, esto en el caso de los indicadores de carátula análogo. En el caso del digital, el indicador mostrara la lectura máxima alcanzada, a partir de un punto cero de referencia, el cual es establecido de la misma manera que en el análogo.

La zona de tolerancia de esta herramienta del GD&T está formada por dos cilindros concéntricos entre sí, uno de ellos, el interno es la medida nominal de variación, es decir cero deformidad o desplazamiento del eje central, y el cilindro externo representa la máxima variación, deformidad o desviación del eje central del cilindro admisible en dicha pieza.

El ejemplo que manejamos en la figura IV.20 se pide que el cilindro de 1.000 – 1.004 mm de diámetro, cumpla con un alabeo radial de 0.004 mm con respecto al Datum A. Imaginemos como inspeccionaríamos tal requerimiento. El Datum A es la cara del cilindro de 2.000 – 2.004 mm, el instrumento para representar ese Datum un chuck de mordazas, las cuales se apoyarían sobre una base plana, sobre esa base se coloca un indicador de carátula con base magnética. Al cerrarse las mordazas del chuck sobre el cilindro de diámetro 2.000 – 2.004 mm, la pieza quedaría centrada, se ajusta el brazo del



indicador de carátula para que el pistón toque el contorno del cilindro de diámetro 1.000 – 1.004 mm, se ajusta a cero y se hace girar la pieza para revisar el alabeo en un punto en específico.



Cada elemento circular de la superficie debe estar posicionado dentro del área formada por dos círculos concéntricos, uno de ellos con un radio 0.004 más grande.

Fig. IV.20 El alabeo radial inspecciona secciones circulares de una pieza.

El alabeo axial, por otra parte, establece una zona de tolerancia para controlar la variación de la forma del cilindro a lo largo de la pieza misma, no solo secciones determinadas, sino simultáneo. Al igual que el alabeo radial, la zona de tolerancia está definida por dos cilindros imaginarios, uno con un diámetro mayor con respecto del otro y alineados con los ejes centrales.

Por defecto, aquellas partes que cumplan con la tolerancia de alabeo axial, automáticamente satisficaría todas las tolerancias de alabeo a las que sean sometidas.

Las tolerancias de alabeo, especialmente alabeo axial, son altamente demandadas en el mundo industrial, sin embargo, constituyen un reto en costos para el área de manufactura e inspección.



Nuevamente, en la figura IV.21 mostramos el ejemplo que se úso para definir el alabeo radial, la diferencia en este ejemplo radica que ahora examinaremos ese alabeo a lo largo del cilindro de 1.000 – 1.004 mm de diámetro, esto de forma simultánea al hacer girar la pieza a través del chuck de mordazas.

La aplicación de esta herramienta es ilimitada, flechas cardan, rotores y ejes son los ejemplos más comunes.

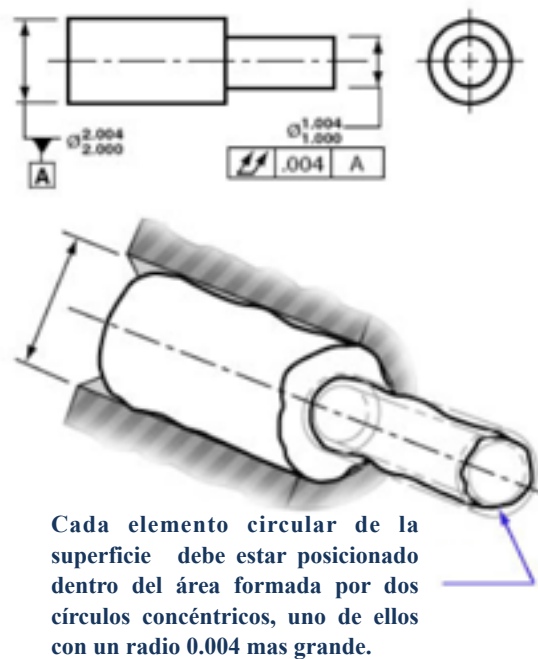


Fig. IV.21 La tolerancia de alabeo axial controla el alabeo a lo largo de la superficie de la pieza.



IV.6.7 Descripción del plano de maquinado

En el capítulo anterior se explicó que el maquinado de esta pieza se lleva a cabo en una sola operación, esta operación se denominó operación 10, la cual a su vez está dividida en suboperaciones. Estas suboperaciones están identificadas como cargas en los dos pallets con los que cuenta la mesa giratoria del centro de maquinado.

A continuación se irán mostrando vistas y secciones del plano de maquinado, procederemos a explicar lo que se pide en cada cota o balloneo, enfocándonos principalmente en la tolerancia geométrica que se colocó en cada maquinado de la pieza.

Comenzaremos con las secciones H-H y C-C de la pieza mostradas en la figura IV.22

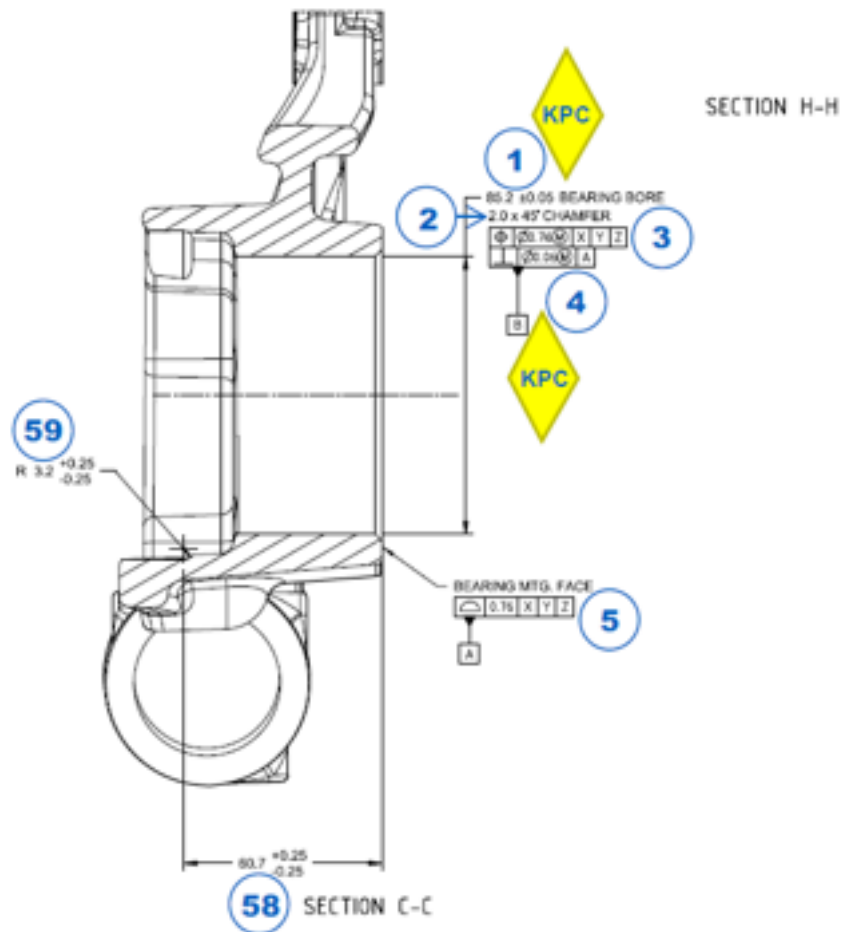


Fig. IV.22 Vista de sección C-C y sección H-H.



Cota 1: Indica un diámetro interno de 85.2 ± 0.05 mm o ± 50 micras de milímetro. En este diámetro interno va montado un balero, sobre el cual será ensamblado el disco o tambor. Sobre este tambor se ensambla el sistema de frenado y el neumático trasero del automóvil.

Cota 2: Indica un chaflán con una profundidad de 2 mm y un ángulo de inclinación a 45° , la función del chaflán es la de facilitar el ensamble de balero en el torneado interior que se realizó.

Cota 3: Indica una posición verdadera referenciada en los planos de los Datums objetivo X, Y, y Z, se tiene una tolerancia de posición verdadera de 0.76 mm cuando este torneado interior se encuentra en su máxima condición de material, es decir cuando el valor de dicho diámetro interior es 85.15 mm, dicho de otra forma, cuando el diámetro interior ésta en su forma más pequeña, dicho maquinado puede estar desplazado hasta 0.76 mm de su origen.

El sistema de sujeción, o fixture, hace contacto sobre estos puntos de referencia para sujetar la pieza usando la regla 3-2-1 de alineación para cancelar los grados de libertad de la pieza. Es a partir de esta sujeción que la herramienta procede a maquinar el diámetro de 85.2 ± 0.05 mm como primera operación. La figura IV.22 muestra la localización de dichos Datum objetivo de una pieza izquierda.

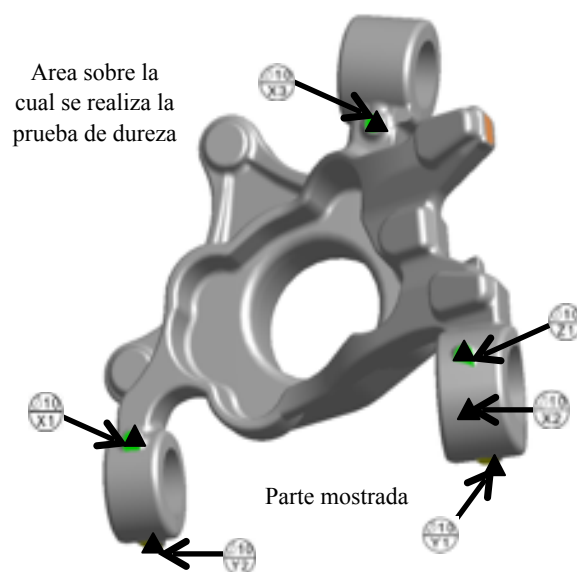


Fig. IV.23 Datums objetivo para alineación de la pieza en el sistema de sujeción.



Cota 4: Indica una perpendicularidad de 60 micras cuya área de tolerancia está delimitada por un cilindro imaginario con un diámetro de 60 micras, la base sobre la cual se alinea el eje del diámetro interior es la cara de la pieza, la cual es afectada por un perfil de 0.76 mm con respecto a los Datums objetivo X, Y y Z, estas especificaciones forman un plano, el cual es el Datum A. Las 60 micras de perpendicularidad se aplican en su totalidad cuando dicho maquinado se encuentra en su máxima condición de material, es decir cuando el diámetro interior se encuentra en 85.15 mm. El arreglo de esta perpendicularidad forma un eje, este eje es el Datum B, el cual nos va a servir para referenciar las tolerancias geométricas restantes.

La figuras IV.24 y IV.25 nos muestran gráficamente el área de tolerancia que se tiene para cumplir con la especificación de la perpendicularidad y la referencia sobre el Datum A.

Cilindro imaginario de diámetro 60 micras con referencia al Datum A.

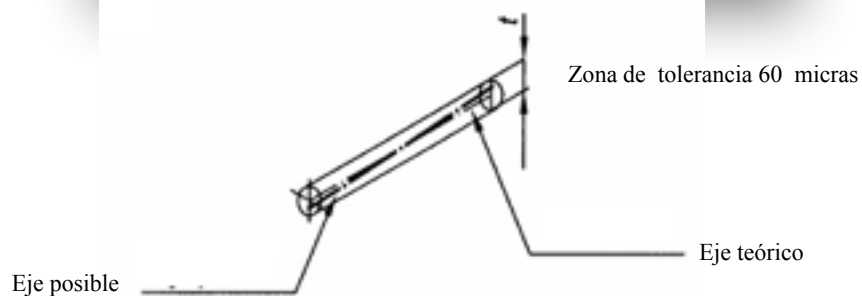
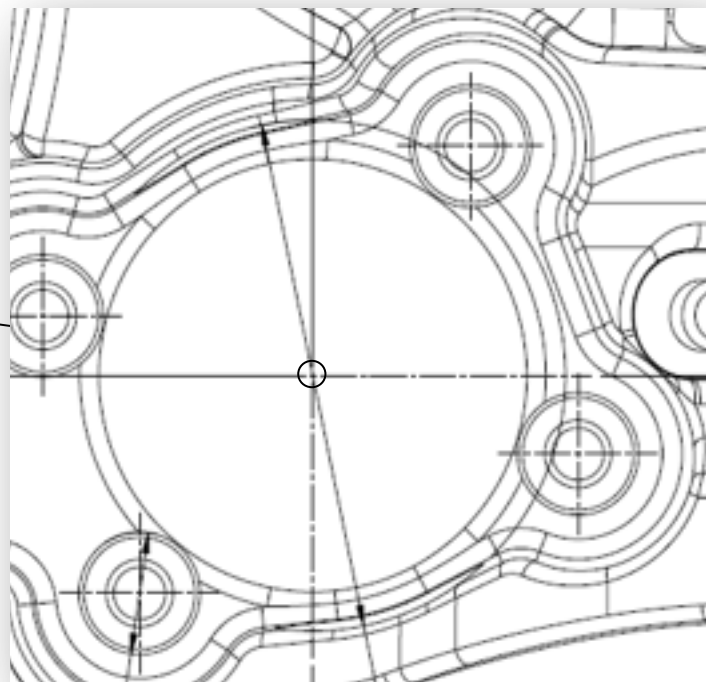


Fig. IV.24 Zona de tolerancia para la perpendicularidad.

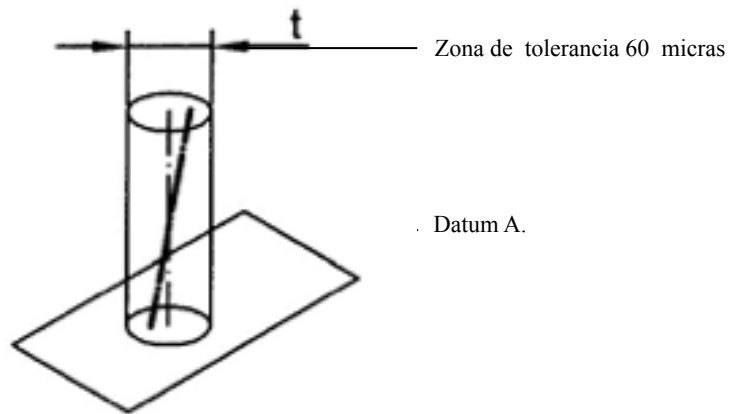


Fig. IV.25. Zona de tolerancia para la perpendicularidad referenciada sobre el Datum A.

Cota 5: Como ya lo habíamos comentado, esta cota indica un perfil de 760 micras, el cual al ser una tolerancia de control de forma, con esta especificación se va a controlar la irregularidad de la superficie donde hace contacto en componente que ensambla en el diámetro interior de 85.2 mm

La figura IV.26 ilustra la zona de tolerancia para esta característica.

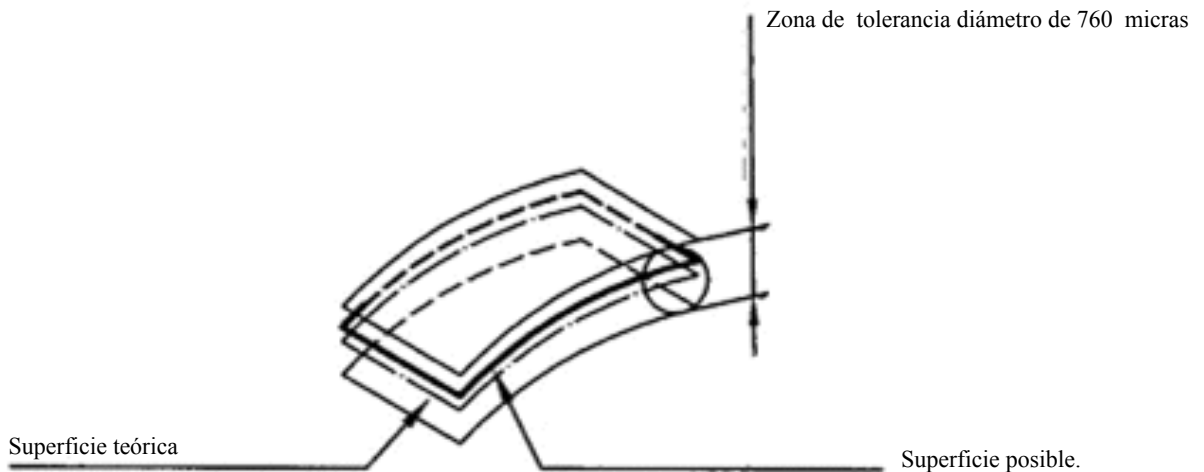


Fig. IV.26. Zona de tolerancia para el perfil de la cara de la pieza.

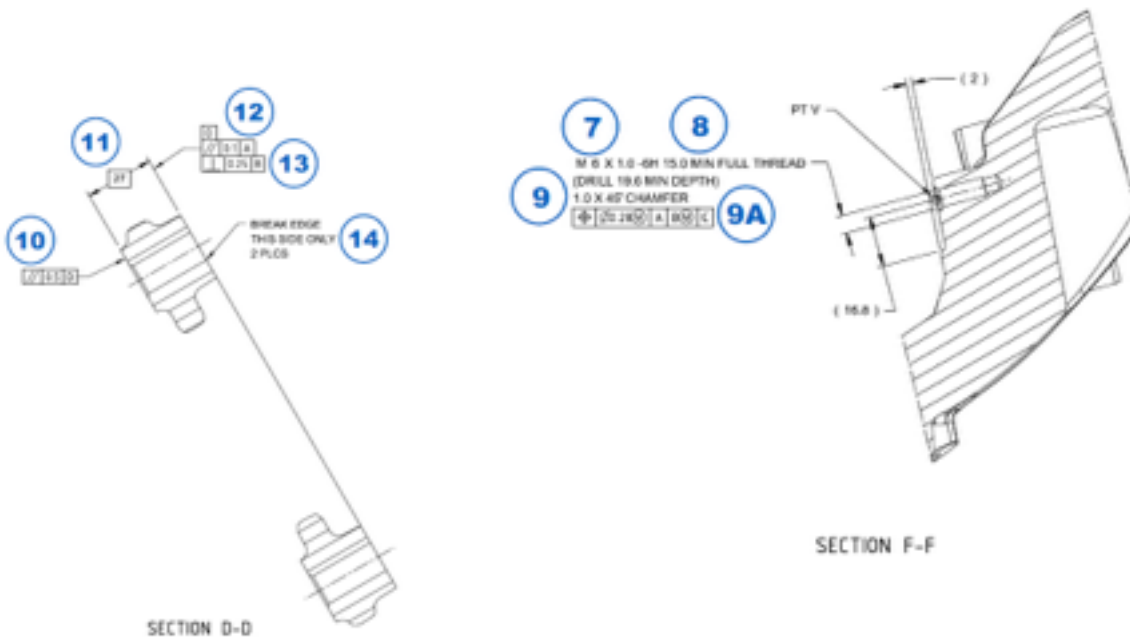


Fig. IV.27. Secciones D-D y F-F.

Cota 7: Indica Una rosca con un diámetro mayor de 6 mm, con un milímetro de paso (distancia entre los hilos de la rosca), con una tolerancia de 6 micras de ajuste entre hembra y macho.

Cota 8: 15.0 MIN.- Indica una rosca con una profundidad de 15 milímetros como mínimo, el barreno abarca 19.6 milímetros de profundidad como mínimo.

Cota 9: Indica un chaflán de 45° con un milímetro de profundidad.

Cota 9A Posición verdadera.- Indica una posición verdadera de 280 micras para este barreno, es decir, el área de la tolerancia para el eje de este barreno es de 280 micras cuando este barreno tiene el valor de 5.72 mm, referenciado a los Datums A, B con condiciones de máximo de contorno, y C. No perdamos de vista cuales son estos Datums, El Datum A es la “cara” de la pieza, sobre la cual apoyaríamos la pieza en un gage para inspeccionarla, recuerden la regla 3-2-1 de alineamiento en una maquina de coordenadas, fixture o en cualquier otro dispositivo para sujeción de la pieza, esto nos ayudara a cancelar los grados de libertad,. El Datum A es el Datum principal, el cual



cancela dos rotaciones, una en el eje Y y otra en el eje Z, además de una traslación en el eje X, después, se lleva a cabo un torneado interior en la cara, se trata de un diámetro de 85.2 ± 0.05 mm, el cual debe quedar perpendicular al Datum A, el eje de ese

cilindro será nuestro Datum B, su función es cancelar las traslaciones en los ejes Y y Z, por último se tiene un torneado interior de uno de los barrenos en donde se monta el

dispositivo de frenado, el cual es llamado “caliper”, el barreno de la cota 56 fungirá como el Datum C, una vez más se trata de un pequeño cilindro, cuyo eje evitará que la pieza gire sobre el eje X, cancelando así todos los grados de libertad de la pieza.

Cota 10: Indica un paralelismo de 0.50 mm con respecto al Datum D, la zona de tolerancia está formada por dos plano paralelos entre si 0.50 mm y alineados sobre el Datum D.

Cota 11: Indica un espesor del caliper, la distancia básica es de 27 mm, la tolerancia aplicada a esta cota es de ± 0.5 mm. Existen notas que se deben aplicar en caso de que la especificación sea una cota básica con 1 decimal o un numero entero, comúnmente a las medias enteras se les aplica una tolerancia de ± 0.5 mm.

Cota 12: Indica un paralelismo con respecto al Datum A, es decir, la zona de tolerancia de esta especificación está formada por dos planos paralelos con una distancia de separación entre ellos de 0.1 mm. Esta superficie, definidas también por la cota 13, es identificada como el Datum D, el cual sirve como referencia para la cota10.

Cota 13: Indica una perpendicularidad referenciada contra el eje del Datum B de 0.25 mm, es decir, el área de la tolerancia está formada por un pequeño cilindro de 0.25 mm de diámetro donde se debe contener el eje de este par de barrenos, en el cual se ensambla el dispositivo de frenado (caliper).



Como ya se mencionó anteriormente, las tolerancias geométricas de las cotas 12 y 13 definen un superficie plana a la que llamaremos el Datum D, su orientación está definida por los Datum A y B como lo podemos ver en las tolerancias que acabamos de explicar.

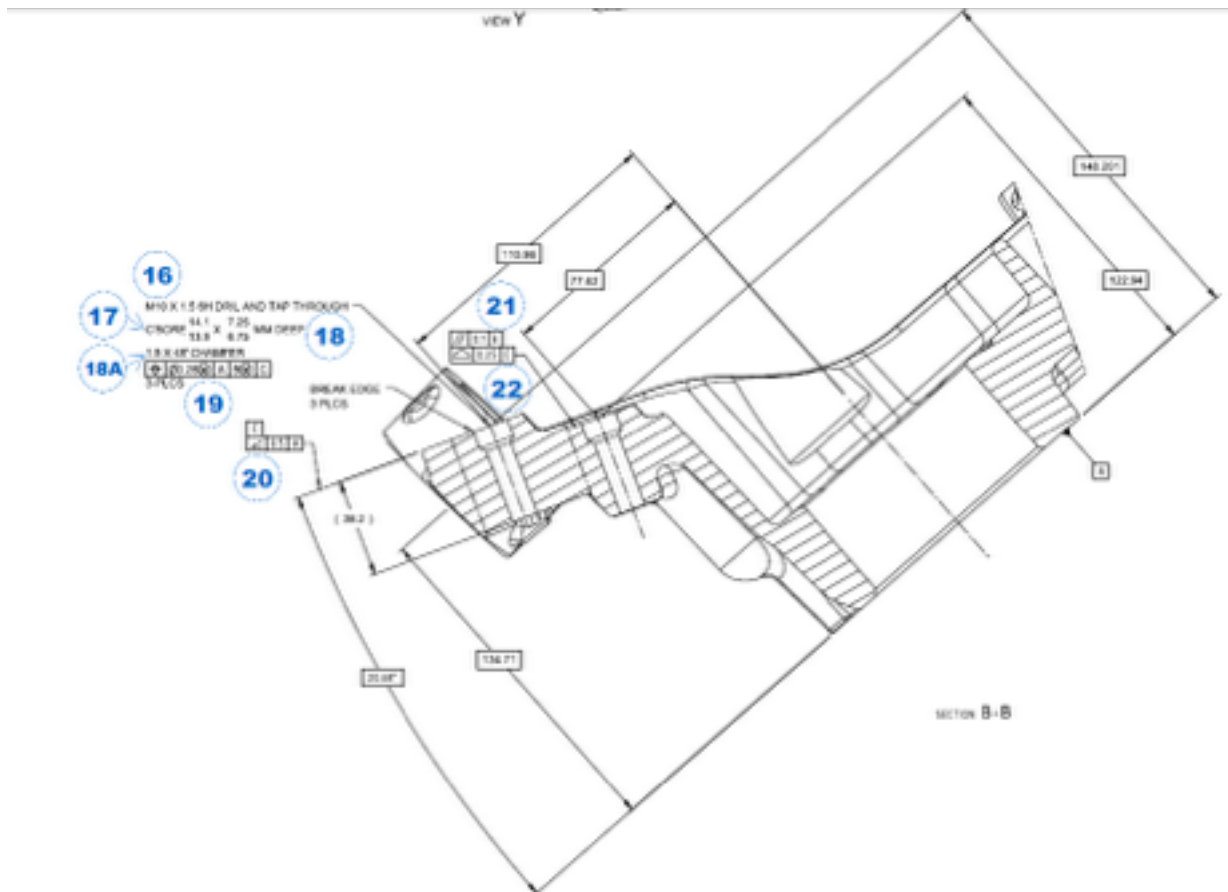


Fig. IV.28. Sección B-B

Cota 16: Indica una rosca pasada de 10 mm de diámetro mayor, 1.5 mm de paso, 6 micras de tolerancia de ajuste entre hembra (tuerca) y macho (tornillo).

Cota 17: Indica una caja para alojar la cabeza del tornillo con un diámetro de 13.9 -14.1 mm.



Cota 18: Indica una profundidad de 6.75-7.25 mm para la caja en donde se va a alojar la cabeza del tornillo.

Cota 18 A: Indica un chaflán con una profundidad de 1.5 mm en las cajas y un ángulo de inclinación de 45°.

Cota 19: Indica la posición verdadera de los tres barrenos que indica el dibujo, con una zona de tolerancia formada por un cilindro imaginario de 0.28 mm por donde debe pasar el eje de cada uno de los barrenos, en su máxima condición de material (diámetro de 9.72 mm), referenciados en los Datums A, B con máxima condición de contorno.

Cota 20: Indica una angularidad que se aplica sobre la zona de la pieza donde se ubican los barrenos, este tipo de maquinado es un careado, formando una superficie plana, orientada con respecto al Datum A. Esto forma el Datum E.

Cota 21: Indica el careado de las cajas, cuya superficie plana resultante de este proceso debe ser paralelo al Datum E.



Fig. IV.29. Sección H-H



Cota 22: Se trata de un control de forma, un perfil que controla la uniformidad de la superficie de las caras de cada una de las cajas.

Cota 23: Indica el espesor de la horquilla que alojara un buje, esta horquilla se llama Camber Link y sus dimensiones son 40 ± 0.25 mm. Este espesor podría ser inspeccionado con una galga pasa-no-pasa.

Cota 23 A: Indica una distancia que va del punto medio (punto donde hace contacto el pin del sistema de sujeción) a una de las caras de la horquilla. Las dimensión es 20 ± 0.25 mm.

Cota 24: Indica un torneado interior, en el cual se alojara el buje en la operación de ensamble. Las dimensiones de este torneado interior son $46.89 + 0.05$ mm -0.15 mm.

Cota 25: Es una cota que está identificada como KPC (Key Product Characteristic), característica clave del producto. Se identifica de esta forma para indicar que el no cumplirse con la especificación puede provocar problemas de ensamble. Al quedar el torneado muy “grande”, el buje podría salirse se la horquilla con facilidad, poniendo en peligro la vida del usuario final. En el caso contrario, el buje no podría ensamblarse debido a lo pequeño que sería el espacio que la horquilla brindaría para alojar el buje. La cota maneja una tolerancia geométrica de posición verdadera, teniendo como especificación de 0.28 mm cuando la horquilla se encuentra en su máxima condición de material (la dimensión de la horquilla sería de 46.74 mm), es decir que el eje de esta horquilla se puede desplazar de su centro teórico en un cilindro imaginario con diámetro de 0.28 mm cuando se obtiene la horquilla más pequeña. Se Observa que esta referenciada a los tres Datums ya descritos en este capítulo: Datum A, B y C.

Cota 26: Indica un chaflán a 30° con una tolerancia de $\pm 5^\circ$. La función de este chaflán es la de facilitar la introducción del buje en la horquilla durante la operación de ensamble.



Cota 27: Indica la profundidad del chaflán.

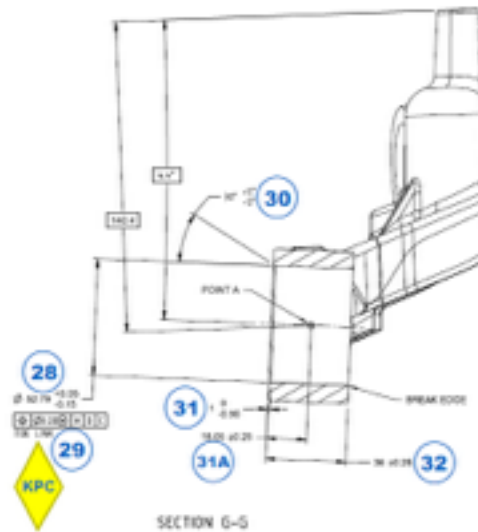


Fig. IV.30. Sección G-G

Cota 28: Indica un torneado interior, en el cual se alojara el buje en la operación de ensamble. Las dimensiones de este torneado interior son $52.79 + 0.05 \text{ mm} - 0.15 \text{ mm}$.

Cota 29: Indica una tolerancia geométrica de posición verdadera, teniendo como especificación de 0.28 mm cuando la horquilla se encuentra en su máxima condición de material (la dimensión de la horquilla sería de 52.64 mm), es decir que el eje de esta horquilla se puede desplazar de su centro teórico en un cilindro imaginario con diámetro de 0.28 mm cuando se obtiene la horquilla más pequeña. Se Observa que esta referenciada a los tres Datums ya descritos en este capítulo: Datum A, B y C. También se trata de una característica clave del producto por las razones ya anteriormente descritas.

Cota 30: Indica un chaflán a 30° con una tolerancia de $\pm 5^\circ$. La función de este chaflán es la de facilitar la introducción del buje en la horquilla durante la operación de ensamble.



Cota 31: Indica la profundidad del chaflán.

Cota 31A: Indica una distancia que va del punto medio (punto donde hace contacto el pin del sistema de sujeción) a una de las caras de la horquilla. Las dimensión es 18.5 ± 0.25 mm.

Cota 32: Indica el espesor de la horquilla que alojara un buje, esta horquilla se llama Toe Link y sus dimensiones son 36 ± 0.25 mm. Este espesor podría ser inspeccionado con una galga pasa-no-pasa.

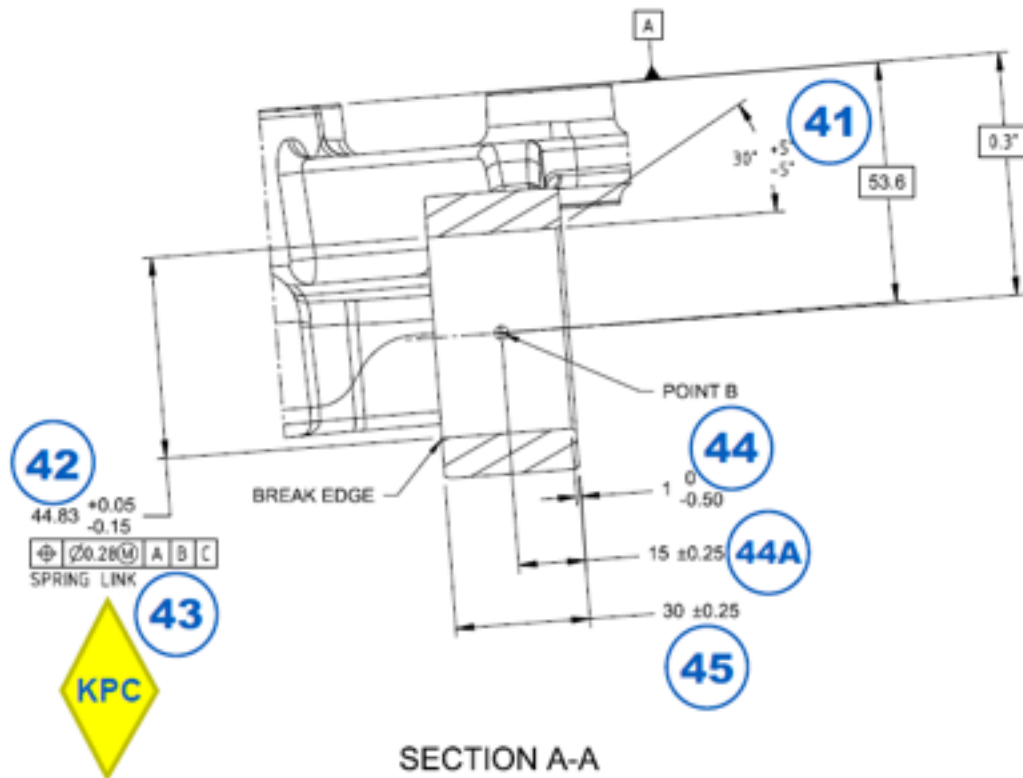


Fig. IV.31. Sección A-A



Cota 41: Indica un chaflán a 30° con una tolerancia de $\pm 5^\circ$. La función de este chaflán es la de facilitar la introducción del buje en la horquilla durante la operación de ensamble. Esto se logra a través de un ajuste de interferencia y un número de libras de presión proporcionados por la máquina ensambladora.

Cota 42: Indica un torneado interior, en el cual se alojara el buje en la operación de ensamble. Las dimensiones de este torneado interior son $44.83 + 0.05 \text{ mm} - 0.15 \text{ mm}$.

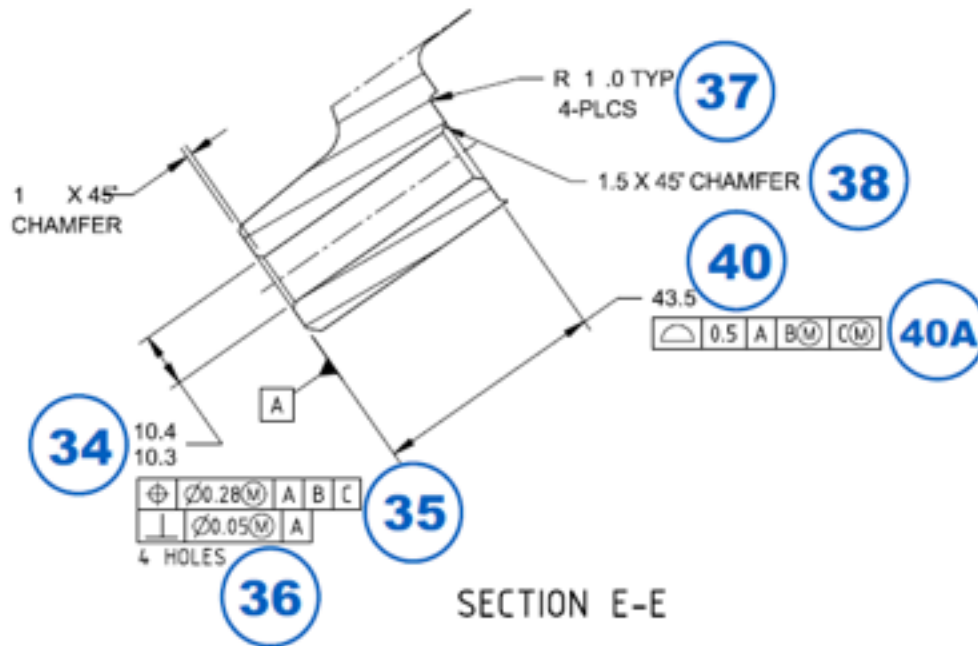
Cota 43: Indica una tolerancia geométrica de posición verdadera, teniendo como especificación de 0.28 mm cuando la horquilla se encuentra en su máxima condición de

material (la dimensión de la horquilla sería de 44.68 mm), es decir que el eje de esta horquilla se puede desplazar de su centro teórico en un cilindro imaginario con diámetro de 0.28 mm cuando se obtiene la horquilla más pequeña. Se observa que esta referenciada a los tres Datums ya descritos en este capítulo: Datum A, B y C. También se trata de una característica clave del producto por las razones ya anteriormente descritas.

Cota 44: Indica la profundidad del chaflán.

Cota 44 A: Indica una distancia que va del punto medio (punto donde hace contacto el pin del sistema de sujeción) a una de las caras de la horquilla. Las dimensiones son $15 \pm 0.25 \text{ mm}$.

Cota 45: Indica el espesor de la horquilla que alojara un buje, esta horquilla se llama Toe Link y sus dimensiones son $30 \pm 0.25 \text{ mm}$. Este espesor podría ser inspeccionado con una galga pasa-no-pasa.



Cota 34: Indica el diámetro de los barrenos de montaje. La función de estos barrenos es la de alojar a los tornillos que fijaran la masa o balero a la superficie del Datum A, recordemos que el diámetro de 85.2 ± 0.05 alojara el balero, estos tornillos fijaran el ensamble. Las dimensiones de los barrenos son 10.3mm -10.4 mm.

Cota 35: Indica una tolerancia geométrica de posición verdadera de 0.28 mm cuando los barrenos se encuentran en su máxima condición de material (10.3 mm), es decir que el eje de los tornillos se puede desplazar en un cilindro imaginario de diámetro 0.28 mm de su posición teórica cuando toma el valor menor de la especificación diametral.

Cota 36: Indica una tolerancia geometría de perpendicularidad, la cual toma como base el Datum A para referenciar los 90° de orientación. La forma de interpretar esta tolerancia es la siguiente. Se trata de un cilindro alineado de forma vertical sobre el Datum A, el diámetro de este cilindro es de 0.050 mm con las condiciones máximas de material (10.3 mm), el eje de los barrenos puede estar desviado de su centro, es decir, “inclinado”, 0.025 mm en cualquier dirección de su centro teórico.

Fig. IV.32. Sección E-E



Cota 37: Indica la fabricación de pequeñas cajas en donde se alojaran las cabezas de los tornillos. El radio de contacto es un radio de 1 mm.

Cota 38: Indica un chaflán en donde se alojara el cuerpo del tornillo. El chaflán es de 45° con una profundidad de 1mm.

Cota 40: Indica el espesor de la superficie de montaje, este espesor está determinado por la profundidad de las cajas es donde se alojan los tornillos. La dimensión del espesor es de 43.5 mm.

Cota 40A: Indica una tolerancia de forma, la cual afecta directamente a la distancia básica de 43.5. Esta tolerancia nos indica que el espesor de la superficie de montaje puede variar +/- 0.25 mm con respecto a los Datums A,B,C, en los cuales B y C se encuentra en condiciones máximas de contorno.

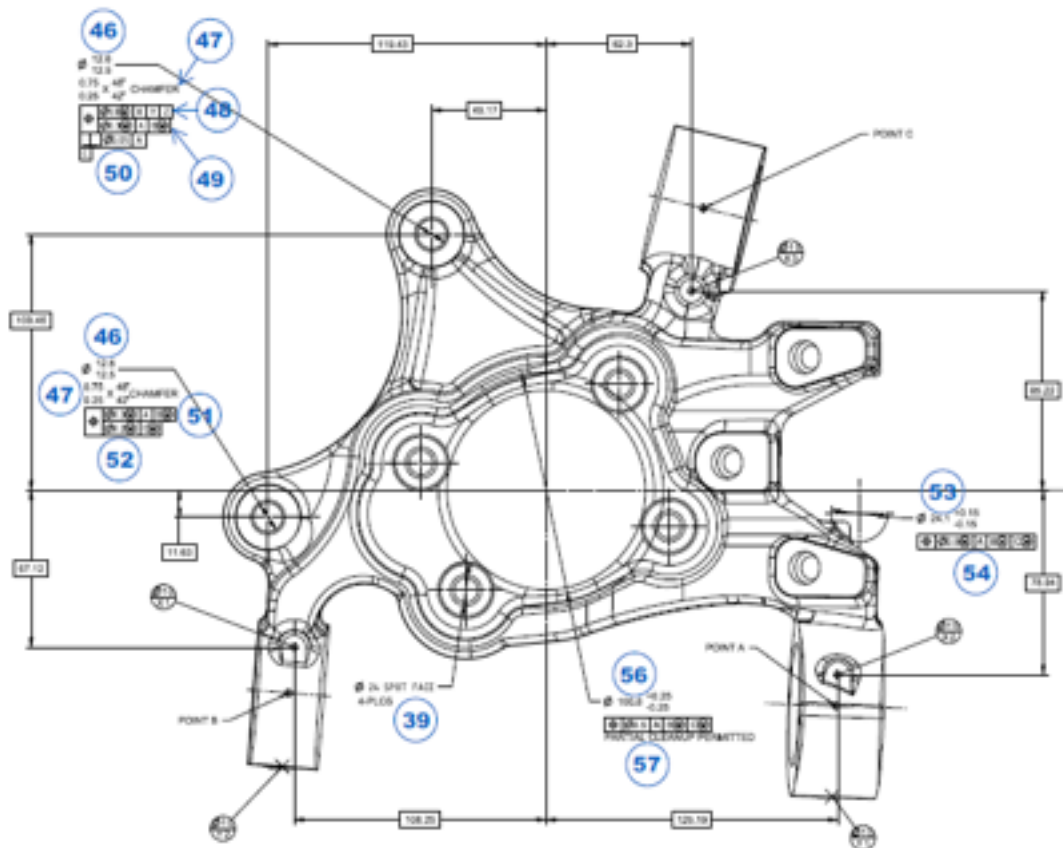


Fig. IV.33. Sección vista superior



Cota 46: Indica un diámetro de 12.5 mm-12.6 mm para los barrenos Caliper (horquilla en donde se coloca el dispositivo de frenado).

Cota 47: Indica un chaflán que va de 42°- 48°, con una profundidad de 0.25-0.75 mm.

Cota 48: Indica una posición verdadera de 1.0 mm con referencia a los puntos de contacto del dispositivo de sujeción: Datum X, Y y Z.

Cota 49: Indica una posición verdadera de 0.3 mm en máximas condiciones de material (12.5 mm). Los Datum de referencia son el Datum A y el Datum B, estando B en máximas condiciones de contorno.

Cota 50: Indica una perpendicularidad de 0.050 con respecto al Datum A. La función de esta tolerancia geométrica es de orientación.

Las Cotas 46.47.48.49 y 50 forman el Datum C, el cual impide que la pieza gire sobre el eje X.

Cota 51: Indica una posición verdadera en condiciones máximas de material (12.5 mm) para el segundo barreno del Caliper referenciada en el Datum A y el Datum B con condiciones máximas de contorno.

Cota 52: Indica una posición verdadera de 0.2 mm en condiciones máxima de material (12.5 mm) con respecto a C en condiciones máximas de contorno. La función de esta tolerancia es de orientación. La forma de interpretar esta tolerancia es la siguiente: El cilindro teórico en donde se puede ubicar el centro del barreno posee un diámetro de 0.20 mm.



Cota 39: Indica una pequeña caja en donde se alojara las cabezas de los tornillos de montaje. El diámetro de esta caja es de 24 mm +/- 0.5mm.

Cota 56: Indica un torneado interior en el cuerpo de la pieza, el diámetro de este tornado interior es de 100.6 +/- 0.25.

Cota 57: Indica la posición verdadera de este maquinado con respecto al Datum A, el Datum B y C con condiciones máximas de contorno, la falta de material (material que no fue removido durante la operación) es permitida.

Cota 53: Indica una desbaste o muesca circular sobre las orejas de los barrenos M10. El diámetro del maquinado es de 24.1 +/- 0.15 mm.

Cota 54: Indica una posición verdadera de este maquinado en condiciones máximas de material de 0.5 (23.95 mm) con condiciones máximas de contorno en el Datum B y C.

Cota 55: Indica un control de forma para el careado de la muesca, este control de forma afecta a la distancia básica de 136 mm, la cual se mide a partir de la superficie del careado del Datum A hasta la cara de la muesca. La tolerancia de perfil será de +/- 0.25 con respecto al Datum A, Datum B y C con máximas condiciones de contorno.



CONCLUSIONES

El presente trabajo pretendió presentar una imagen actual de las condiciones en las que opera una industria tan demandante como lo es la automotriz, la importancia del cumplimiento de los requerimientos establecidos por las empresas ensambladoras y los parámetros establecidos por normas internacionales como la ASME en sus distintos apartados.

La descripción de las tendencias tecnológicas en el sector manufacturero nos permitieron ofrecerle a los lectores lo último en equipos CNC disponibles en el mercado, preparando el camino para la descripción del equipo que se tiene disponible en la línea de manufactura flexible en donde se procesa la parte de la que habla este trabajo de tesis.

En este trabajo de tesis se resumió un universo grande y complejo como lo es una empresa manufacturera, con el objetivo de mostrar la base esencial de la operación de una línea de maquinado, los factores que intervienen como insumos hacia el sistema y la validación de las salidas con un enfoque hacia calidad.

Para nuestra Universidad y los compañeros que se están formando en ella, la visión de lo que es el sector automotriz, las herramientas que se usan en ese sector laboral, herramientas que adquirimos durante nuestra estancia y formación en nuestra máxima casa de estudios, pero además, este trabajo de tesis nos permitió presentar una de las herramientas tan poco conocidas y exclusiva del diseño y manufactura, las Tolerancias Geométricas, las cuales deben ser conocidas por todos aquellos que se inclinen hacia el área de diseño y manufactura. Esto solo es la punta del iceberg en cuanto a conocimiento y aplicación de tan importante herramienta. Nuestro objetivo al redactar este capítulo es el de impulsar, a los lectores que decidan leer este material, hacia el deseo de conocer, entender y manejar este tipo de herramientas, la cual en base a nuestra experiencia profesional, otorga ventaja competitiva cuando se está afuera de la escuela en busca de una oportunidad para desarrollarse profesionalmente.

Bibliografía.

The American Society of Mechanical Engineers ASME Y14.5M – 1994. Dimensioning and Tolerancing (Revision de la Norma ANSI Y14.5M -1982 (R1988)).

Ford Automotive Safety and Engineering Standards. Geometric Dimensioning and Tolerancing. No. 80-14-215 B. Primera Edición, Enero 1995.

Niebel, Freivalds (2004). Ingeniería Industrial, Métodos estándares y diseño del Trabajo. ED. 11ª Ed. Alfa Omega. México 2004.

Maynard. W. K. Hodson. Manual del Ingeniero Industrial. 4º Edición, McGraw-Hill, México, 1996.

Grupo de Trabajo Automotriz Internacional (IATF).ISO/TS 19949. Requerimientos particulares para la aplicación de ISO 9001:2008 para organizaciones automotrices de partes para producción y servicios relevantes, 3ra Edición. 2009-06-15.

Dimensioning and Tolerancing. ASME Y14,5M.1994 (Revisión de la Norma ANSI Y14.5 M-1982 (R1988)).