

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA**

**“DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UN CALIBRADOR FUNCIONAL  
PASA/NO PASA UTILIZANDO GD&T PARA LA PIEZA 3010130000  
DE LA EMPRESA FLEX-N-GATE”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

PRESENTA:

**ELÍ JOSAFAT RUÍZ OLMOS**

DIRECTOR DE TESIS:

**M.C. IGNACIO HERNÁNDEZ CASTILLO**

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA

OCTUBRE DE 2011



## DEDICATORIA

---

Este trabajo pretende convertirse en la advocación de todas aquellas personas que por sus pensamientos, comprensión y consejos coadyuvaron para que pueda contribuir en el desarrollo de mi país y del mundo. Ya que me enseñaron que las personas podrán dejar este mundo, pero sus ideales siempre vivirán.

A mis padres Reyno Regino Ruíz e Irma Olmos Gómez, por forjarme el carácter para conseguir esta parte de mis anhelos y enseñarme que es posible conseguirlo todo mediante el trabajo e inteligencia.

A mis hermanos J. Gilberth e Itandehui, para que tomen de ejemplo este primer logro y contribuyan a la satisfacciones de mis padres, quienes desean forjar profesionistas que ayuden a resolver los problemas que actualmente afronta la sociedad.

A mi novia Azucena del Carmen, con quien descubrí nuestra misión en este mundo. Porque nunca me dejó solo en los momentos más difíciles de esta etapa de mi vida, y por compartir un mismo sueño: ser realista y hacer lo imposible.

A toda mi familia, porque siempre me mostraron su apoyo incondicional y fueron base importante para subir el primer escalón y alcanzar el éxito en la vida.



## **AGRADECIMIENTOS**

---

*Agradezco a Dios por iluminarme en el camino.*

*A mis padres y hermanos que siempre me apoyaron a pesar de las circunstancias.*

*A Carmen por su compañía en todas las etapas de este proyecto.*

*A mi director de tesis M.C. Ignacio Hernández Castillo por sus conocimientos y colaboración en este trabajo.*

*A los sinodales M.C. José Alfredo Carazo Luna, M.C. Salvador Montesinos Gonzales, M.C. Rodolfo Carro López, por la disponibilidad mostrada en el desarrollo del proyecto.*

*A los Ing. Industriales Carol Peñaloza y Agustín Reyes.*

*A la empresa Moldes y Troqueles S.A. por la asesoría recibida durante la fase de diseño del dispositivo.*

*A la empresa FLEX-N-GATE Querétaro, por haber otorgado las facilidades para la concepción del proyecto.*

*Y a todos los Camaradas que directa e indirectamente participaron en este trabajo.*

*Finalmente me agradezco a mí mismo por haber logrado la culminación de esta meta.*



## ÍNDICE

---

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
RESUMEN .....	XIII
CAPÍTULO I. MARCO DE REFERENCIA .....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4. OBJETIVO GENERAL .....	5
1.4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
1.5. METAS.....	5
1.6. METODOLOGÍA.....	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. RESEÑA.....	11
2.2. CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO INDUSTRIAL .....	16
2.3. CALIBRADOR FUNCIONAL.....	17
2.4. DIMENSIONAMIENTO Y TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS (GD&T).....	18
2.4.1. INTRODUCCIÓN A LAS GD&T .....	18
2.4.2. TOLERANCIAS DE INGENIERÍA MODERNA.....	22
2.4.3. INTERCAMBIABILIDAD Y SISTEMAS DE AJUSTES Y TOLERANCIAS.....	25
2.4.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE GD&T.....	28
2.4.5. DIMENSIONADO FUNCIONAL.....	29

2.4.6. DEFINICIONES UTILIZADAS EN GD&T .....	30
2.4.7. SÍMBOLOS PARA CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y MODIFICADORES .....	31
2.4.8. TOLERANCIAS EXTRA .....	36
2.4.9. DATUM .....	43
2.4.10. TOLERANCIAS DE PERFIL.....	52
2.4.11. TOLERANCIAS DE POSICIÓN.....	56
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....	65
3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	67
3.2. ELEMENTOS DEL PROBLEMA .....	68
3.3. RECOPIACIÓN DE DATOS .....	68
3.4. ANÁLISIS DE DATOS .....	69
3.5. CREATIVIDAD .....	77
3.6. MODELOS .....	82
3.7. MATERIALES-TECNOLOGIAS .....	84
3.8. ELABORACIÓN .....	85
3.9. VERIFICACIÓN .....	90
3.10. DIBUJOS CONSTRUCTIVOS.....	92
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	93
4.1. ALCANCE DE OBJETIVOS Y META .....	95
4.2. CONCLUSIONES.....	99
BIBLIOGRAFÍA .....	101
ANEXOS .....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Fig. 1 Calibrador Funcional Pasa/No Pasa .....	17
Fig. 2 Diagrama del Dimensionado .....	21
Fig. 3 Determinación del tipo de ajuste .....	28
Fig. 4 Definiciones de GD&T .....	31
Fig. 5 Símbolo de Modificadores .....	32
Fig. 6 Cuadro de Control de Figura .....	34
Fig. 7 Aplicación del Cuadro de Control de Figura .....	34
Fig. 8 Símbolo Datum .....	35
Fig. 9 Dimensiones Básicas .....	36
Fig. 10 Tolerancia Extra .....	37
Fig. 11 Efecto de la MMC .....	38
Fig. 12 Efecto del modificador con Tolerancia Cero .....	40
Fig. 13 Partes Ensambladas .....	41
Fig. 14 Condición Virtual .....	42
Fig. 15 Condición Virtual Forma Perfecta .....	42
Fig. 16 Condición Virtual usando Tolerancias Geométricas .....	43
Fig. 17 Marco de Referencia Datum .....	44
Fig. 18 Datum Primario, Secundario y Terciario .....	45
Fig. 19 Especificación de Datums .....	46
Fig. 20 Regla 3-2-1 .....	47
Fig. 21 Grados de libertad de una parte .....	48
Fig. 22 Aplicación a MMC .....	48
Fig. 23 Interpretación de Aplicación a MMC .....	49
Fig. 24 Datum Objetivo .....	50
Fig. 25 Ejemplo Datum Objetivo .....	51
Fig. 26 Ejemplo de un Slot .....	51
Fig. 27 Ejemplo Perfil referente a Datum .....	53
Fig. 28 Interpretación Perfil de Referencia a Datum .....	53
Fig. 29 Perfil de una Superficie Unilateral y Bilateral .....	54

Fig. 30 Interpretación de Perfil de una Superficie Unilateral y Bilateral .....	54
Fig. 31 Diagrama de Flujo de Controles de Perfil .....	55
Fig. 32 Ejemplo Tolerancia de Posición.....	57
Fig. 33 Interpretación Tolerancia de Posición.....	57
Fig. 34 Simulación de un Perno.....	58
Fig. 35 Ejemplo GAGE Funcional para Tolerancia de Posición.....	59
Fig. 36 Tolerancia Posición a MMC .....	61
Fig. 37 Ejemplo Tolerancia de Posición.....	62
Fig. 38 Dispositivo Funcional para Localizar barrenos.....	63
Fig. 39 Housing-Support Plate 3010130000 .....	67
Fig. 40 Maquina de Medición por Coordenadas .....	68
Fig. 41 Winche .....	69
Fig. 42 Análisis barreno 1 .....	70
Fig. 43 Análisis Barreno 2, 3 y 4.....	71
Fig. 44 Análisis Barrenos 5, 6 y 7 .....	72
Fig. 45 Análisis Barreno 8.....	73
Fig. 46 Análisis Barreno 9.....	74
Fig. 47 Análisis Barreno 10.....	75
Fig. 48 Interpretación Datum A.....	77
Fig. 49 Primera opción del Dispositivo .....	78
Fig. 50 Forma del Dispositivo para localización de Barrenos.....	78
Fig. 51 Parte principal del Dispositivo y su Base.....	79
Fig. 52 Datums B y C .....	79
Fig. 53 Forma de los Datums B y C .....	80
Fig. 54 Piezas para sujetar Datums B y C .....	80
Fig. 55 Localizadores .....	81
Fig. 56 SET para medir alturas.....	82
Fig. 57 Modelo 1 .....	82
Fig. 58 Modelo 2 .....	83
Fig. 59 Modelo Final del Dispositivo.....	84
Fig. 60 Diseño 3D del Dispositivo del Prototipo .....	86

Fig. 61 Sujeción y Alineación de la madera.....	87
Fig. 62 Códigos numéricos y Simulación del maquinado .....	87
Fig. 63 Maquinado.....	87
Fig. 64 Sujeción en mesa de Mármol .....	90
Fig. 65 Validación de Barrenos .....	91
Fig. 66 Posición real y del Dispositivo de los barrenos.....	91
Fig. 67 Proceso de Validación.....	92
Fig. 68 Diseño 3D elaborado en CATIA del Dispositivo.....	95
Fig. 69 Prototipo parte Frontal .....	96
Fig. 70 Prototipo parte Trasera.....	96
Fig. 71 Inspección de la pieza en el Prototipo .....	97
Fig. 72 Verificación del diseño del Dispositivo con el modelo matemático de la pieza.....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1 Organismos de Normalización .....	24
Tabla 2 Tolerancia Extra .....	37
Tabla 3 Efecto de la MMC .....	38
Tabla 4 Efecto de la LMC .....	39
Tabla 5 Efecto del Modificador con Tolerancia Cero .....	40
Tabla 6 Interpretación de Aplicación a MMC.....	49
Tabla 7 Tolerancia de Perfil .....	52
Tabla 8 Tolerancias de Posición.....	56
Tabla 9 Análisis Tolerancia de Posición .....	58
Tabla 10 Interpretación Matemática de la Tolerancia de Posición a MMC.....	62
Tabla 11 Análisis Barreno 1 .....	71
Tabla 12 Análisis Barreno 2, 3 y 4.....	72
Tabla 13 Análisis Barrenos 5, 6 y 7 .....	73
Tabla 14 Análisis Barreno 8.....	74
Tabla 15 Análisis Barreno 9.....	75
Tabla 16 Análisis Barreno 10.....	76
Tabla 17 Estudio de Tiempos con el GAGE GO/NO GO.....	98
Tabla 18 Estudio de Tiempos con la Máquina de Coordenadas.....	98

## RESUMEN

---

Este proyecto de tesis consiste en Diseñar un Calibrador o Dispositivo Funcional (GAGE GO/NO GO) para la localización de barrenos para la pieza Housing-Support Plate de la empresa Flex-N-Gate Querétaro, utilizando GD&T debido a que actualmente no cuentan con dicho Calibrador para el proceso de inspección de éste número de parte. Para su validación por parte de la empresa se desarrolló un Prototipo del GAGE, el cual posteriormente será fabricado por un proveedor con los que cuenta la empresa dedicada a la Fabricación de Dispositivos de Calidad.

La Metodología de trabajo que se siguió se basó en el procedimiento Proyectual de Bruno Munari para el diseño de nuevos productos. Por lo que en primera instancia se analizaron las Tolerancias Geométricas que indica el dibujo de esta pieza, posteriormente se determinaron cuáles son las características críticas, es decir las tolerancias de posición, que se necesitan controlar para el diseño de acuerdo a lo que requiere la empresa, obteniéndose que únicamente se controlarían las tolerancias de Posición en referencia a la Cilindricidad.

Una vez comprendidas las Tolerancias de Posición, se prosiguió con el diseño del Dispositivo, el cual se realizó con la asesoría de la empresa Moldes y Troqueles S.A de C.V.

Al obtenerse el diseño final del Dispositivo, su elaboración se llevó a cabo en el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, haciendo uso principalmente de la Fresadora CNC Vertical.

Finalmente se llevó a la empresa donde el Técnico Metrólogo verificó que las posiciones de los barrenos del Dispositivo del Prototipo coincidieran con las posiciones reales de la pieza, es decir, que los barrenos del Dispositivo estén dentro de las Tolerancias establecidas. Una vez liberado el Prototipo se emitió un reporte que valida el diseño realizado.

Para concluir se comprobó que las metas y los objetivos trazados en un principio se cubrieron en su totalidad al comparar los tiempos estándar del proceso de inspección con la Máquina de Coordenadas y el Prototipo.





# CAPÍTULO I. MARCO DE REFERENCIA



## **1.1. INTRODUCCIÓN**

---

La palabra diseño proviene del término italiano disegno, que significa delineación de una figura, realización de un dibujo. En vista de una diversidad de significados e intuiciones respecto al diseño, según J. Christopher Jones: "El efecto de diseñar es iniciar un cambio en las cosas realizadas por el hombre". Así tenemos: diseño industrial, diseño artesanal, diseño gráfico, entre otros. Como es problemático dar una definición del concepto diseño, más lo es cuando se trata del término diseño industrial, por lo que de acuerdo a la revisión bibliográfica, el ICSID (International Council of Societies of Industrial Design) lo define como: una actividad proyectual que consiste en determinar las propiedades formales de los objetos producidos industrialmente. La importancia en torno a la joven profesión del diseño industrial ha acontecido en México, de 1952 a la fecha (1).

Actualmente muchas empresas necesitan del diseño industrial para innovar sus procesos y productos porque representa una oportunidad para ser altamente competitivos en el mercado donde se desempeñan. Tal es el caso de Flex-N-Gate, empresa dedicada a la fabricación de autopartes localizada en el estado de Querétaro, donde surge la necesidad de realizar el diseño de un calibrador funcional pasa/no pasa para una pieza específica que rápidamente revisa su forma y ajuste de una manera similar a su uso proyectado (2), con la finalidad de ahorrar en horas-hombre el tiempo de inspección y la redefinición de frecuencia de verificación basado en las causas potenciales.

Para ello se hará uso de Especificaciones Geométricas del Producto bajo ISO (GPS, por sus siglas en inglés) y Reportes Técnicos o como se conoce en los Estados Unidos de América, Tolerancias y Dimensionamiento Geométrico (GD&T, por sus siglas en inglés) en ANSI o ASME Y14.5M-2009 (3). Lo anterior con la finalidad de cumplir con los estándares internacionales para la calidad del producto. Por otra parte a través del software CATIA se elaborará el diseño en 3D debido a que permite disminuir costos en tiempo y dinero en el diseño virtual (4).

El siguiente trabajo a través de su metodología permitirá en primera instancia obtener un diseño en 3D del dispositivo en cuestión que cumpla con todas las características potenciales de la pieza; posteriormente obtener un prototipo del calibrador empleando un material distinto al del mercado debido a su alto costo y complejidad en la manufactura,

con la finalidad de validar el diseño por parte de la empresa para su futura fabricación con uno de sus proveedores especializado en el producto y cumpla con su objetivo principal.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

---

El problema consiste en que la empresa no cuenta con un calibrador (GAGE) funcional pasa/no pasa para la pieza Housing-Support Plate 3010130000. Actualmente la forma de validarla es mediante una máquina de coordenadas, en la cual se mide cada característica de la pieza, este proceso tarda más de diez minutos e incurre en altos costos de mano de obra y tiempo, así como retrasos en el arranque y control de calidad.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

---

El desarrollo de este proyecto se justifica en la necesidad de la empresa por economizar en horas hombre reduciendo el tiempo de inspección de la pieza mediante un calibrador funcional pasa-no pasa basado en las características críticas que solicita el cliente. Por lo que en primera instancia se optó por diseñar un prototipo del dispositivo que cumpla estos requerimientos basado en las GD&T, utilizando sistemas CAD (en este caso elaborado en el software CATIA como requerimiento de la empresa) y desarrollado con herramientas CAM para posteriormente ser fabricado por un proveedor de GAGES debido a los altos costos del material empleado. Al finalizar el diseño se presentará a la empresa para su aprobación.

Así mismo el desarrollo de este trabajo complementará los conocimientos en análisis y diseño industrial, normas para dimensionado y tolerado geométrico (ASME Y14.5), Metrología (en el rubro calibración), debido a su gran utilidad actualmente en la industria, específicamente en el ramo automotriz, que continuamente está mejorando sus procesos productivos.

## **1.4. OBJETIVO GENERAL**

---

Diseñar un Calibrador Funcional pasa-no pasa de la pieza 3010130000 utilizando GD&T y herramientas CAD/CAM para disminuir el tiempo de inspección.

### **1.4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las características críticas de la pieza mediante especificaciones técnicas de dibujo para determinar las dimensiones del dispositivo.
- Obtener un diseño en 3D del dispositivo mediante el modelo matemático de la pieza para simular la verificación de las cotas críticas y datums que especifica el dibujo del número de parte.
- Desarrollar un prototipo a través del diseño anterior para su posterior validación por parte de la empresa.

## **1.5. METAS**

---

Reducir el tiempo de inspección de la pieza en un 80% del tiempo actual.

## **1.6. METODOLOGÍA**

---

La metodología empleada en el desarrollo de esta tesis, se basa en la Metodología Proyectual (5) para el desarrollo de nuevos productos.

### *1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA*

Lo primero que se realizará es definir el problema en su conjunto. Muchos diseñadores creen que los problemas ya han sido suficientemente definidos por sus clientes. Pero esto no es en absoluto suficiente. Por tanto es necesario empezar por la definición del problema, que servirá también para definir los límites en los que deberá moverse el proyectista.

## *2. ELEMENTOS DEL PROBLEMA*

Cualquier problema puede ser descompuesto en sus elementos. Esta operación facilita la proyectación porque tiende a descubrir los pequeños problemas particulares que se ocultan tras los subproblemas. Una vez resueltos los pequeños problemas de uno en uno (y aquí empieza a intervenir la creatividad abandonando la idea de buscar una “idea”), se recomponen de forma coherente en base a todas las características funcionales de cada una de las partes, a partir de las características materiales, psicológicas, ergonómicas, estructurales, económicas y por último, formales.

## *3. RECOPIACIÓN DE DATOS*

Veremos qué datos convendrá documentar para decidir luego los elementos constitutivos del proyecto. En primer lugar se recopilarán catálogos de fábricas que producen calibradores funcionales pasa/no pasa parecidos a la que hay que proyectar. Así como las normas afines al proyecto.

## *4. ANÁLISIS DE DATOS*

El análisis de todos los datos recogidos puede proporcionar sugerencias sobre qué hacer para proyectar bien un GAGE, y puede orientar la proyectación hacia otros materiales, otras tecnologías, otros costos, etc.

## *5. CREATIVIDAD*

La creatividad reemplazará a la idea intuitiva de resolver un problema. Así pues, la creatividad ocupa el lugar de la idea y procede según su método. Mientras la idea, vinculada a la fantasía, puede proponer soluciones irrealizables por razones técnicas, materiales o económicas, la creatividad se mantiene en los límites del problema, límites derivados del análisis de los datos y de los subproblemas.

## *6. MODELOS*

Estas experimentaciones permitirán extraer muestras, pruebas, informaciones que pueden llevar a la construcción de modelos demostrativos de nuevos usos para determinados objetivos. Todavía no hemos hecho ningún dibujo, ningún boceto, nada que pueda definir la solución. Todavía no sabemos qué forma tendrá lo que hay que proyectar. Pero en cambio tenemos la seguridad de que el margen de posibles errores será muy reducido. Ahora

podemos empezar a establecer relaciones entre los datos recogidos e intentar aglutinar los subproblemas y hacer algún boceto para construir modelos parciales. Estos bocetos hechos a escala o a tamaño natural, pueden mostrarnos soluciones parciales de englobamiento de dos o más subproblemas. De esta forma obtendremos un modelo de lo que eventualmente podrá ser la solución del problema.

#### *7. MATERIALES-TECNOLOGÍAS*

La sucesiva operación consiste en otra pequeña recogida de datos relativos a los materiales y a las tecnologías que se debe disponer en el momento de realizar el proyecto. La industria que ha planteado el problema dispone de una tecnología propia para fabricar determinados materiales y no otros. Por tanto es inútil pensar en soluciones al margen de estos dos datos relativos a los materiales y a las tecnologías.

#### *8. ELABORACIÓN*

Es ahora cuando se realizará una experimentación de los materiales y las técnicas disponibles para realizar el proyecto. Muy a menudo materiales y técnicas son utilizados de una única forma o de muy pocas formas según la tradición. La experimentación de los materiales y de las técnicas y, por tanto, también de los instrumentos, permite recoger informaciones sobre nuevos usos de un producto concebido para un único uso.

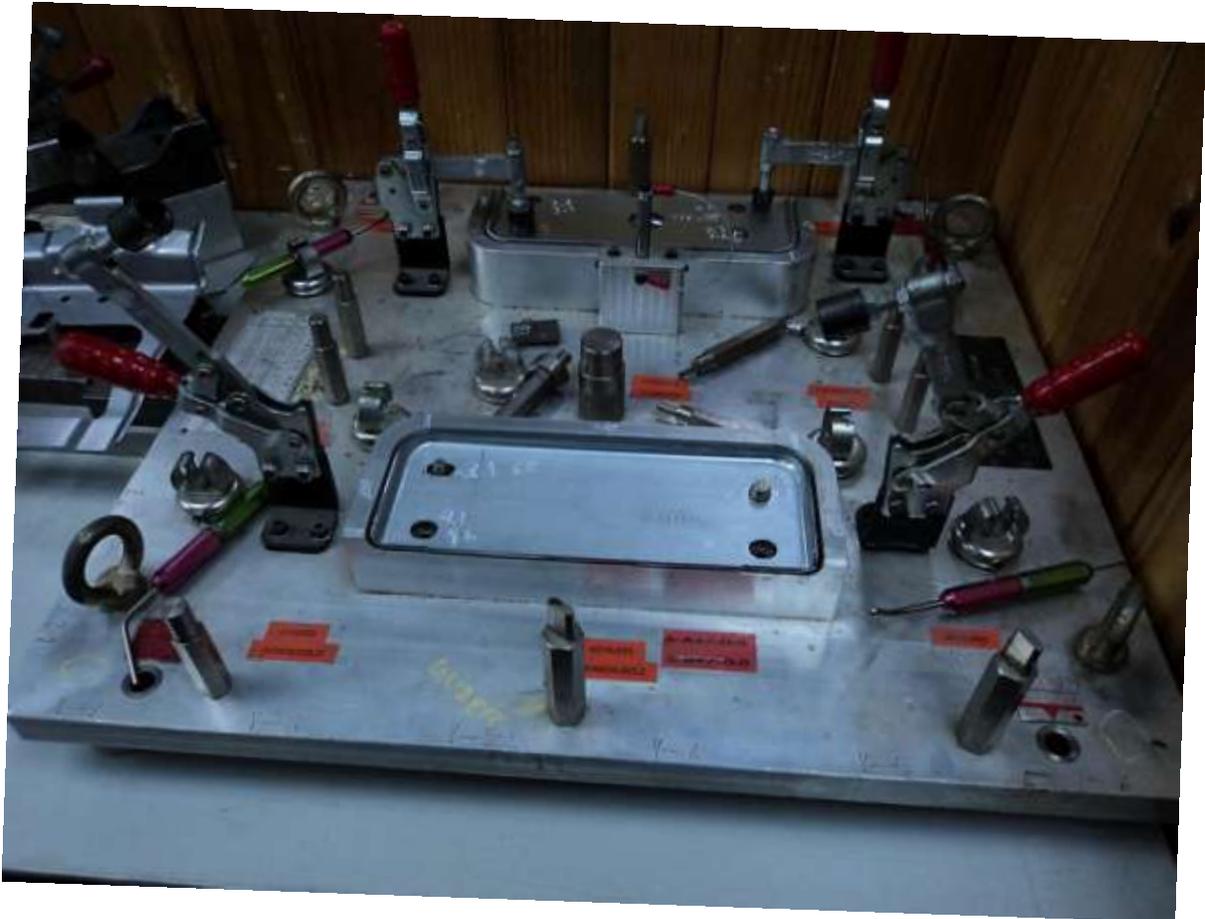
#### *9. VERIFICACIÓN*

Este es el momento de llevar a cabo una verificación del modelo o de los modelos (puede ocurrir que las soluciones posibles sean más de una). Se presenta el modelo a la empresa y se les pide que emitan un juicio sincero sobre el objeto en cuestión. Sobre la base de estos juicios se realiza un control del modelo para ver si es posible modificarlo; siempre que las observaciones posean un valor objetivo.

#### *10. DIBUJOS CONSTRUCTIVOS*

En base a todos estos datos ulteriores se pueden empezar a preparar los dibujos constructivos a escala o a tamaño natural, con todas las medidas exactas y todas las indicaciones necesarias para la realización del prototipo. Los dibujos constructivos tendrán que servir para comunicar a una persona que no esté al corriente de éste proyecto, toda la

información útil para preparar un prototipo. Estos planos serán realizados de forma clara y legible, en cantidad suficiente para entender bien todos los detalles.



# CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO



## 2.1. RESEÑA

---

Antes de la llamada revolución industrial, la manufactura de bienes que consumía la sociedad era elaborada por artesanos especializados, quienes en muchas ocasiones firmaban cada pieza que elaboraban. Pero la demanda de nuevos productos, la producción en línea y la aparición de nuevos sistemas de fabricación rompieron con el antiguo esquema. En este nuevo enfoque el artesano pasó a ser un trabajador de fábrica, provocando la pérdida de la identificación de éste en cada producto elaborado y disminuyendo a la vez la calidad, ya que los requerimientos de producción en masa descuidaban las características que satisfacían las necesidades de los consumidores (6).

La implementación del control de equipo de monitoreo y medición (Norma ISO 9004:2000-requisito 7.6) en los sistemas de calidad industriales para asegurar la conformidad del producto a requerimientos específicos no ha sido un fenómeno inmediato, se ha desarrollado en forma progresiva y cada vez más extendida en cada uno de los procesos en el transcurso de la consolidación del sistema de calidad empleado en cada organización. Pero también es cierto, que la actualización de la ISO 9001:2000 e ISO/TS 16949:2002 han exigido nuevos requisitos para asegurar la conformidad del producto (7); por ello la necesidad de contar con un laboratorio de calidad o Metrología dentro de las empresas. Las personas responsables de la gestión metrológica en una organización tienen como objetivo primario, cumplir las especificaciones de calidad enmarcadas en las políticas de la empresa y requerimientos específicos de los procesos de producción del cual son garantes, y donde sea posible: gestionar actividades para la reducción de costos y maximizar los efectos de estas economías (8).

La Tecnología de la producción actual en las empresas no podría ser creada sin la Metrología. La Metrología es la ciencia de las Mediciones y es base importante para el desarrollo Científico y Tecnológico de un País. Para lograr esto se requiere de un sistema que incluya a las normas Metrológicas reconocidas internacionalmente así como las propias en cada país que tengan la función de verificar y corregir los aparatos Metrológicos y que además permitan mantener la exactitud de estas reglas. La Metrología de acuerdo a su función se clasifica en:

- **Metrología Legal:** Tiene como función la de establecer el cumplimiento de la Legislación Metrológica como: La conservación y empleo de los patrones internacionales primarios, secundarios así como mantener laboratorios oficiales que conserven estos patrones. En el caso de México es el CENAM.
- **Metrología Científica:** Su función radica en la búsqueda y materialización de los patrones internacionales para que estos sean más fáciles de reproducir a Nivel Internacional, encontrar los patrones más adecuados para los descubrimientos que se hagan en el futuro y seguir analizando el Sistema Internacional de Unidades; en el caso de México es el CENAM.
- **Metrología Industrial:** Compete a los laboratorios autorizados, su función es dar servicio de Calibración de Patrones y equipos a la Industria.

Así mismo se divide de acuerdo al tipo y Técnica de Medición como:

- **Metrología Geométrica o Dimensional**
- **Metrología Eléctrica**
- **Metrología Térmica**
- **Metrología Química**

Siendo de interés para este proyecto **La Metrología Dimensional.**

### ***METROLOGÍA DIMENSIONAL***

La Metrología Geométrica o Dimensional es la ciencia aplicada que se encarga de estudiar las técnicas de medición que determinan correctamente las magnitudes lineales y angulares. La unidad de la magnitud de longitud, es el metro (m), una de las siete unidades base del Sistema Internacional de Unidades (SI). La unidad de ángulo plano en el SI es el radián (9). La Metrología Dimensional también estudia otras características físicas, como redondez, paralelismo, concentricidad, coaxialidad, rugosidad, tolerancia geométrica, entre otras. Cuando hablamos de la magnitud de dimensional, hablamos de una magnitud que mantiene un alto impacto en la industria de la manufactura, ya que las dimensiones y la geometría son las características esenciales del producto de este tipo de industria. Gran parte de la industria y la tecnología se basa en la medición de longitud, desde el hilo de rosca en una tuerca y el tornillo de precisión de piezas mecanizadas en los motores de automóviles hasta las diminutas estructuras de los microchips, y todos requieren de una trazabilidad exacta al

patrón nacional de longitud mantenido por el Instituto Nacional de Metrología de cada país. Esta necesidad es aún más importante en la economía global, ya que sin ella, por ejemplo, un ala de avión realizada en el Reino Unido no se ajusta a un fuselaje hecho en Francia.

### **Áreas de la Metrología Dimensional**

Existen una gran diversidad de aplicaciones de la magnitud dimensional, la clasificación puede realizarse desde diferentes criterios, uno podría ser la de aplicación que son las longitudes, ángulos, acabado superficial, formas (10):

- Longitudes: Exteriores, Interiores, Profundidades, Alturas.
- Ángulos: Exteriores, Interiores.
- Acabado superficial: Rugosidad.
- Formas: Forma por elementos aislados, Rectitud, Planitud.
- Cilindricidad: Forma de una línea, Forma de una superficie.
- Orientación por elementos asociados: Paralelismo, Perpendicularidad, Angularidad o inclinación.
- Posición por elementos asociados: Localización, Concentricidad, Coaxialidad.

Otra tipo de clasificación puede realizarse desde los tipos de instrumentos y su método de medición:

- Medidas angulares
  - *Medida directa*  
Con trazos o divisiones, transportador simple, goniómetro, escuadra de combinación, dimensión fija, escuadras, patrones angulares, calibradores cónicos.
  - *Medida indirecta*  
Trigonometría, falsas escuadras, regla de senos, mesa de senos, máquina de medición por coordenadas.
- Medidas lineales
  - *Medición directa*  
Con trazos o divisiones, metro, cinta de medición, regla graduada, calibradores, medidor de altura con vernier, medidor de profundidad con vernier, con tornillo micrométrico, todo tipo de micrómetros, cabezas

micrométricas, dimensión fija, bloques patrón, calibradores de espesor (laminas), calibradores de límite (pasa – no pasa).

▪ *Medición indirecta*

Comparativa, comparadores mecánicos, comparadores ópticos, comparadores neumáticos, comparadores electromecánicos, máquina de medición de redondez, medidor de espesor de recubrimiento, trigonometría, esferas o cilindros, máquina de medición por coordenadas, relativa, niveles, reglas ópticas, rugosímetros.

Para el estudio de las técnicas de medición mencionadas en el párrafo anterior se necesita el apoyo de normas internacionales: GPS y GD&T. Estos documentos utilizan un lenguaje internacional de símbolos para expresar las tolerancias y requisitos en dibujos técnicos. Antes de aplicarse estas nuevas normas sobre los dibujos, se imponían restricciones no necesarias y en algunos casos permitían que piezas que no cumplían con condiciones de montaje controlado fueran aceptadas y pasaran al ensamble, la aplicación de las nuevas normas beneficia la reducción de los costos de fabricación al eliminar este tipo de pérdidas. La función primaria de los dibujos técnicos de un producto, es llevar el diseño y sus requisitos a los responsables de fabricarlo (3).

Debido a lo anterior el Control de calidad requiere de especificaciones técnicas o Normas Metrológicas para asegurar la calidad del producto. Las Normas Metrológicas contienen:

- Dimensiones
- Tolerancias
- Especificaciones

La aplicación de una norma técnica requiere:

- Equipos de control dimensional
- Patrones secundarios: Patrón cuyo valor se establece por comparación con un patrón primario de la misma magnitud.
- Patrones primarios: Patrón que es designado o ampliamente reconocido como poseedor de las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor se acepta sin referirse a otros patrones de la misma magnitud.

Lo anterior se controla de la siguiente manera:

- Los equipos de control se encuentran en laboratorios y línea de producción
- Los patrones secundarios se encuentran en laboratorios secundarios y empresas
- Los patrones primarios se encuentran en institutos de Metrología como el "CENAM"

Para producir partes de calidad se requiere de tres planes o documentos: Dibujo del diseño del producto para sus requerimientos funcionales, El plan de proceso de manufactura que define cómo hacer el producto y El plan de evaluación dimensional para verificar el producto (11). En base al último documento surge la necesidad de utilizar Calibradores Funcionales Pasa/No Pasa para evaluar los requerimientos funcionales del producto y especificados en el dibujo de dicho producto.

Para ello se necesita diseñar el GAGE funcional que ajuste a los requerimientos necesarios para evaluar la calidad del producto mediante el control por atributos. De acuerdo a lo que plantean Cross, Elliott y Roy: Diseño en la actualidad se toma como innovación, creación, avance, solución renovadora, un nuevo modo de relacionar un número de variables o factores y el logro de una mayor eficacia. La actividad profesional del Diseño Industrial, es una disciplina proyectual, tecnológica y creativa, con la finalidad de colaborar en la optimización de los recursos de una empresa, en función de sus procesos de fabricación y comercialización; proyectar productos o sistemas de productos que tengan una interacción directa con el usuario; que se encuentren estandarizados, normalizados y seriados en su producción. Estas proyecciones deben ser concebidas a través de un proceso metodológico interdisciplinario y un modo de producción de acuerdo con la complejidad estructural y funcional que los distingue y los convierte en unidades coherentes (1).

Para facilitar esta tarea se han creado varios software con múltiples aplicaciones para diferentes tipos de diseño. En el caso del diseño industrial uno de ellos es CATIA. Éste programa es uno de los productos más potentes y competitivos del mercado de diseño 3D. Creado para las necesidades de utilización de funciones complejas de diseño de piezas y ensamblajes, capacidades de extracción de planos asociativos, diseño productivo de piezas de plancha metálica, útiles de creación de moldes, entre otros, de forma ágil, económica y

productiva. Por tanto, es la mejor solución para el diseño mecánico, desde la concepción del producto hasta su manufactura (4).

## **2.2. CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO INDUSTRIAL**

---

El Diseño Industrial es una disciplina que busca resolver las relaciones Formales/Funcionales de los objetos susceptibles de ser producidos industrialmente. Surgida como tal en el siglo XX, considerando al arquitecto Peter Behrens, como el primer diseñador industrial.

Al igual que muchas otras profesiones, nace a partir de la revolución industrial como una respuesta a la "deshumanización" de los productos de la nueva era industrial, convertida paulatinamente en una estrategia comercial para mejorar la aceptación de los productos gracias a sus cualidades estéticas, ergonómicas, funcionales y económicas (12).

La gran mayoría de los teóricos del diseño, como es el caso de Bonsiepe, establecen en común las siguientes características para definir la actividad del diseño industrial (1):

- Actividad que satisface las necesidades de la colectividad social mediante productos desarrollados (aislados o sistemas de productos) en interacción directa con los usuarios.
- Actividad innovadora en el ámbito de las disciplinas que constituyen el gran campo de la proyección ambiental.
- Actividad que trata ante todo de incrementar el valor de uso de los productos (función del producto y utilización por parte del usuario).
- Actividad que determina las propiedades formales (estéticas, estructurales y funcionales) de los productos.
- Actividad que pretende ser una instancia crítica en la estructuración del mundo de los objetos.
- Actividad que pretende ser un instrumento para el incremento de la productividad o para el fomento de nuevas industrias.
- Actividad coordinadora del desarrollo y planificación de productos.

- Actividad planteada como procedimiento para incrementar el volumen de las exportaciones.

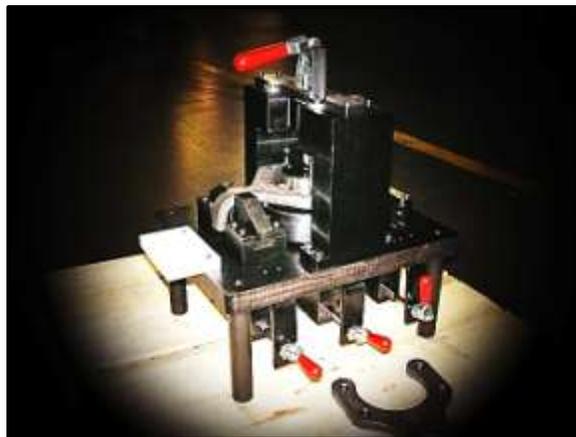
Las actuales sociedades postmodernas se encuentran sumergidas en una inmensa cantidad de objetos consecuencia de la producción industrial seriada, desde sencillos empaques hasta automóviles. Estos objetos son estudiados y analizados por diseñadores Industriales, quienes sintetizan la información proporcionada por estudios de mercado, de funciones, anatómicos, culturales, entre otros, para poder desarrollar (diseñar) productos adecuados al mercado y sus expectativas.

## **2.3. CALIBRADOR FUNCIONAL**

---

Un Calibrador Funcional es aquel que representa una pieza coincidente del "peor de los casos" que proporciona una evaluación simple de Pasa / No Pasa de la pieza inspeccionada. Los calibradores funcionales verifican rápidamente varias características al mismo tiempo, como su forma, localización, perfil y ajuste de una manera similar a su uso proyectado. Véase Fig. 1.

Un atributo o Calibrador Funcional controla el ajuste apropiado o separación entre dos o más funciones. El Calibrador Funcional proporciona un nivel de medida Pasa / No Pasa, sin embargo, no tiene la capacidad de determinar la variación exacta de la dimensión nominal de una determinada característica.



**Fig. 1 Calibrador Funcional Pasa/No Pasa**

**Fuente: (13)**

El Calibrador Funcional para localización de barrenos proporciona un medio sencillo y ergonómico para aplicar Pasa / No Pasa en la inspección de la parte. Ofrece los medios para ubicar la pieza basada en los requerimientos de un número de parte o máquina que utiliza Dimensionamiento y Tolerancias Geométricas (GD&T). Los elementos del calibrador son aplicados a las características específicas de la pieza proporcionando resultados basados en criterios de una condición de parte buena o mala de acuerdo a las especificaciones del cliente. En aplicaciones donde un accesorio no puede sujetar la pieza y unidades de calibramiento portátil en el Calibrador Funcional para localización de barrenos, se sujetará manualmente (13).

## **2.4. DIMENSIONAMIENTO Y TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS (GD&T)**

### **2.4.1. INTRODUCCIÓN A LAS GD&T**

Desde que el ser humano creó artefactos ha utilizado medidas, métodos de dibujo y planos.

Los planos ya eran conocidos hacia el año 6,000 a. C. En esas épocas la unidad de medida utilizada por las civilizaciones del Nilo y de los Caldeos fue un “cubito real”. Durante cerca de los dos mil años esta medida fluctuó entre la longitud de 45 a 48 cm. Alrededor del año 4,000 a. C. El cubito real fue estandarizado en 46.33 cm. Esto estableció un patrón que siguió por más de 6,000 años. Desde que existen medidas, métodos para dibujar y dibujos, ha habido controversias, comités y estándares.

La manufactura, tal como la conocemos el día de hoy, se inició con la Revolución Industrial en los 1800’s. Ya existían dibujos, claro está, pero estos eran muy distintos a los utilizados actualmente. Un dibujo típico de los 1800’s fue una joya artística con muchas vistas hechas con tinta y con una precisión que se asemejaba a un fotografía. Ocasionalmente el diseñador anotaba una dimensión, pero por lo general, esto se consideraba innecesario.

¿Por qué? Porque el proceso de manufactura en estos tiempos era muy diferente. No existían líneas de ensamble, ni departamentos o unidades corporativas diseminadas por todo el país y menos mundialmente.

En esos tiempos, la manufactura era una industria casera y el “obrero” lo hacía todo, desde la hechura de partes hasta el ensamble final y los conocimientos adquiridos con mucho esfuerzo se heredaban de generación en generación. Para estos hombres no existía el concepto de variación. Solamente la perfección era aceptable.

Claro que había variación, pero los instrumentos en esos tiempos carecían de la precisión para detectarla. Si se presentaban problemas de ajuste, el labrador simplemente ajustaba, limaba, agregaba, etc. hasta que la pieza trabajaba perfectamente.

Todo el proceso se hacía bajo un solo techo y la comunicación entre los trabajadores era constante e inmediata: “La falta a este lado”. ”Esta esquina tiene mucho claro”. ”Ahora si ajusta.”

El proceso en esos tiempos si conocía calidad, pero era lento, laborioso y consecuentemente costoso.

La llegada de la línea de ensamble y otras mejoras tecnológicas revolucionaron la manufactura. La línea de ensamble reemplazó al obrero generalizado por el especialista y le quitó el tiempo para el “ajusta y prueba”.

Métodos mejorados de medición también ayudaron a eliminar el mito de la “perfección”. Los ingenieros ahora entienden que la variación es inevitable. Más todavía, en cada dimensión de cualquier ensamble, se permite cierta variación sin impedir un buen funcionamiento de la parte, mientras que esa variación (la tolerancia), sea identificada, entendida y controlada. Esto llevó al desarrollo del sistema de tolerancias más/menos o sistema de coordenadas y el lugar más lógico para su anotación fue el dibujo o plano de ingeniería o de diseño.

Con este desarrollo los dibujos cambiaron de simple y bellas reproducciones de las partes, a herramientas de comunicación entre los distintos departamentos, los que a su vez descentralizaron, se especializaron más y más y se sujetaban a demandas más estrictas.

Con el fin de mejorar la calidad de los dibujos, se hicieron esfuerzos para su estandarización. En 1935, después de años de discusión la American Standards Association (Organización Americana de Estándares) publicó los primeros estándares para dibujo con la publicación “American Drawing and Drafting Room Practices”. De sus escasas 18 páginas,

solo cinco se dedicaban al dimensionamiento. Las tolerancias solamente se cubrían en dos breves párrafos.

Esto fue el principio, pero sus deficiencias fueron obvias al iniciarse la segunda guerra mundial. En Inglaterra, la producción bélica fue fuertemente afectada por el alto índice de deshecho, ya que las partes no embonaban adecuadamente. Los ingleses determinaron que esta debilidad tenía su origen en los más/menos del sistema de coordenadas y, más crítico todavía, la ausencia de información completa en dibujos de ingeniería.

Impulsados por las necesidades de la guerra, los británicos innovaron y estandarizaron. Stanley Parker de la Royal Torpedo Factory (fábrica real de torpedos) en Alejandría, Escocia, creó un sistema de posicionamiento de tolerancias con zonas de tolerancias circulares (vs. Cuadradas). Los ingleses continuaron publicando un juego de estándares en 1944 y en 1948 publicaron “Dimensional Analysis of Engineering Design” (análisis dimensional del diseño de ingeniería). Este fue el primer estándar completo usando los conceptos básicos de dimensiones de posicionamiento actuales.

En 1940 en los Estados Unidos, Chevrolet, publicó un manual para dibujantes, la primera publicación conteniendo alguna discusión significativa sobre posición de tolerancias. En 1945, el ejército de los EUA publicó su “Ordinance Manual on Dimensioning and Tolerancing” (Manual de Ordenanza para Dimensionamiento y Tolerancias), el cual introdujo el uso de símbolos (en lugar de notas) para especificar la forma de posicionamiento de las tolerancias.

Aun así, la segunda edición de la Asociación Americana de Estándares “American Standard Drawing and Drafting Room Practice”, publicada en 1946 sólo mencionó tolerancias en forma mínima. El mismo año, sin embargo, la Society of Automotive Engineers – SEA (Sociedad de Ingenieros Automotrices) expandió la cobertura de prácticas de dimensionamiento aplicadas en la industria de la aviación en su “SEA Aeronautical Drafting Manual”. Una versión automotriz de estos estándares fue publicado en 1952.

En 1949, los militares de los EUA siguieron a los británicos con la primera publicación de dimensiones y tolerancias, conocida como MIL -STD-8. Su sucesor, MIL-STD-8A, publicado en 1953 autorizó el uso de 7 símbolos básicos e introdujo una metodología para el dimensionamiento funcional. Ahora ya había tres diferentes grupos en los Estados

Unidos publicando estándares de dibujo: ASA, SAE y los militares. Esto llevó a años de confusión por las inconsistencias entre los estándares, pero también a un progreso lento pero seguro en la unificación de dichos estándares.

En 1957, la ASA aprobó el primer estándar dedicado a dimensiones y tolerancias, en coordinación con los Británicos y Canadienses; el estándar MIL-STD-8B de 1959 acercó a los militares a los de ASA y SAE; y en 1966, después de años de debate, el primer estándar unificado fue publicado por el American National Standards Institute (ANSI), sucesor de ASA, conocido como ANSI Y14.5. Este primer estándar fue actualizado en 1973 para reemplazar notas por símbolos en todas las tolerancias, y el estándar actual fue publicado en 1982. ANSI tenía programada la publicación de la revisión de este estándar para 1993.

Dimensiones y Tolerancias Geométricas están ahora en uso en el 70 – 80% de todas las compañías en los Estados Unidos y son el estándar reconocido para contratos militares.<sup>1</sup>

### **DEFINICIÓN DE LAS GD&T**

Es uno de los tres tipos de dimensiones usado en los dibujos (planos) industriales y de ingeniería, como se puede apreciar en la Fig. 2:



**Fig. 2 Diagrama del Dimensionado**

**Fuente: (14)**

Concretamente las dimensiones y tolerancias geométricas (GD&T) tienen un doble propósito, primero, es un conjunto de símbolos estandarizados para definir características de un pieza y sus zonas de tolerancias. Los símbolos y su interpretación están regulados por

---

<sup>1</sup> En Europa el mismo estándar (con mínimas variaciones) se utiliza bajo el nombre ISO 1101 y en Alemania como DIN 7184

la norma ANSII Y14.5-M-2009 de la American National Standards Institute de EUA. Segundo, e igual de importante, GD&T es una filosofía para definir la función o el trabajo de la pieza, para permitirle al diseñador dar a conocer exactamente como trabaja esa pieza, de manera que los departamentos de manufactura e inspección puedan entender exactamente las necesidades de diseño.

Un concepto muy importante acerca de GD&T es que las dimensiones en un dibujo definen el tamaño y la forma de una pieza para que funcione tal y como lo planeó el diseñador. Esta filosofía en dimensionado es una herramienta muy eficaz que puede resultar en una reducción en los costos de producción. Las GD&T pueden verse como una herramienta para mejorar comunicaciones y como una filosofía de diseño entre diferentes departamentos para obtener ahorros significativos en los gastos de operación de una compañía (14).

#### **2.4.2. TOLERANCIAS DE INGENIERÍA MODERNA**

Un dibujo de ingeniería de una pieza fabricada tiene por objeto transferir información del diseñador al fabricante e inspector. Debe contener toda la información necesaria para que la pieza se fabrique correctamente; también debe permitir a un inspector determinar con precisión si la pieza es aceptable.

Por consiguiente cada dibujo debe transmitir tres tipos esenciales de información:

- a) El material a ser utilizado
- b) El tamaño o dimensiones de la pieza
- c) La forma o características geométricas

El dibujo también debe especificar variaciones permisibles de cada uno de estos aspectos en la forma de tolerancias o límites.

Los materiales, por lo general, se tratan mediante especificaciones aparte o documentos suplementarios y los dibujos solo hacen referencia a éstos. El tamaño se especifica mediante dimensiones lineales y angulares. Se pueden aplicar tolerancias directamente a estas dimensiones o pueden ser especificadas por medio de una nota de tolerancia general.

La forma y características geométricas, tales como orientación y posición, se describen por medio de vistas en el dibujo, complementadas hasta cierto grado por dimensiones.

En el pasado, se mostraban las tolerancias, de las cuales no existía una interpretación precisa, por ejemplo, en dimensiones que se originaban en líneas de centro no existentes. La especificación de detalles de referencia se omitían a menudo, lo que provocaba que se hicieran mediciones a partir de superficies reales cuando, en realidad, se pensaba en referencias. Había confusión con respecto al efecto preciso de varios métodos de expresar tolerancias y del número de cifras decimales utilizadas. Aunque en ocasiones las tolerancias de características geométricas se especificaban en forma de notas (la forma del objeto, tal como redondo, cuadrado o plano, y la relación de las formas entre sí, tal como paralela o perpendicular), no se establecían métodos o interpretaciones precisas. Se dibujaban líneas rectas o circulares sin especificaciones sobre qué tan rectas o redondas debían ser. Las esquinas a escuadra se dibujaban sin ninguna indicación de cuánto podía variar el ángulo de 90°.

Los sistemas modernos de asignación de tolerancias, los cuales incluyen tolerancias geométricas y posicionales, utilizan referencias o destinos de referencia e interpretaciones más precisas de tolerancias lineales y angulares, proporcionan a diseñadores y dibujantes los medios de expresar variaciones permisibles de una manera muy precisa. Además, los métodos y símbolos son de alcance internacional y no son afectados por barreras lingüísticas.

No es necesario utilizar tolerancias geométricas para cada detalle en el dibujo de una pieza. En la mayoría de los casos es de esperarse que si cada detalle satisface todas las tolerancias dimensionales, las variaciones de forma serán adecuadamente controladas por la precisión del proceso de fabricación y el equipo utilizados.

**Normas internacionales** Se hace referencia a normas de dibujo técnico publicadas por Estados Unidos, Canadá y Organismos Internacionales. Por lo general se hace referencia a estos organismos por sus acrónimos, como se muestra en la Tabla 1.

La mayoría de los símbolos en todas estas normas son idénticos, aunque existen algunas variaciones menores. En vista del intercambio de dibujos entre Estados Unidos, Canadá y otros países, conviene que los dibujantes y diseñadores se familiaricen con estos símbolos.

Tabla 1 Organismos de Normalización

Fuente: (15)

ACRÓNIMO	ORGANISMO DE NORMALIZACIÓN	NORMA PARA DIMENSIONADO Y APLICACIÓN DE TOLERANCIAS
ANSI	Instituto Nacional Americano de Normas	ASME Y14.5 M-1994 (R2009)
ASME	Sociedad Americana de Ingeniería Mecánica	
ISO	Organización Internacional de Normalización	ISO R1101
CSA	Asociación de Normas Canadienses	CAN/CSA B78.2-M91

Por esta razón, siempre que se presentan diferencias entre las normas Estadounidenses y las de ISO, se muestran dos métodos en los planos de dibujo y cada uno se rotula con el acrónimo del organismo de normalización apropiado, ASME, CSA e ISO. Sin embargo las diferencias en los símbolos o métodos de aplicación no afectan los principios o interpretación de las tolerancias, a menos que se señale (véase ANEXO 1 y ANEXO 2).

### CONCEPTOS BÁSICOS

Algunos de los conceptos básicos utilizados en la asignación de dimensiones y tolerancias de dibujos se describen más adelante. Aunque no son nuevos, sus significados exactos aseguran una atención especial de modo que no exista ambigüedad en la interpretación de los métodos de asignación de tolerancias.

#### Dimensión

Una **dimensión** es una característica geométrica de la cual se especifica el tamaño, tal como diámetro, longitud, ángulo, ubicación o distancia entre centros. El término también se utiliza por conveniencia para indicar la magnitud o valor de una dimensión.

#### Tolerancia

La **tolerancia** en una dimensión es la variación total permisible de su tamaño, la cual es igual a la diferencia entre los límites de tamaño. En ocasiones se utiliza el plural *tolerancias*

para determinar las variaciones permisibles del tamaño especificado cuando la tolerancia se expresa bilateralmente (15).

### **2.4.3. INTERCAMBIABILIDAD Y SISTEMAS DE AJUSTES Y TOLERANCIAS**

Al comienzo de la Revolución Industrial las máquinas eran producidas individualmente. Una pieza cualquiera de una máquina no podía ser usada en otra máquina del mismo equipo; como el ajuste de las piezas se hacían individualmente, no era posible reparar dos máquinas reemplazando directamente las piezas gastadas por otras nuevas.

La fabricación de un mismo producto en grandes cantidades introdujo la necesidad de la intercambiabilidad de piezas y conjuntos. El ejemplo clásico de la importancia de la intercambiabilidad la podemos ver cuando Henry Ford produjo automóviles en serie y con piezas intercambiables, conquistó el mercado.

#### ***INTERCAMBIABILIDAD***

Es la posibilidad, cuando se monta un conjunto mecánico, de tomar al azar un lote de piezas semejantes, terminadas y verificadas, una cualesquiera para ser montada o ensamblada sin que haya necesidad de ningún trabajo de ajuste; por ejemplo, si tenemos 10 pernos que tienen que ser ensamblados en 10 barrenos para formar 10 conjuntos acoplados. Si el ensamble anterior cumple con las condiciones de funcionamiento requeridas decimos que la *intercambiabilidad es absoluta*.

En el diseño de toda pieza mecanizada en las cotas indicadas hay que tolerar un error. La magnitud de este error depende de la precisión de la máquina a utilizar y de las condiciones del medio ambiente; este error se llama Tolerancia de Fabricación.

#### ***DEFINICIONES ACERCA DE TOLERANCIAS Y AJUSTES***

**Cota Nominal:** Es la dimensión dada en el dibujo.

**Cota efectiva:** Es la dimensión real de la cota obtenida. Diferencia superior, es la diferencia algebraica entre la cota máxima y la cota nominal. Diferencia inferior, es la diferencia algebraica entre la cota mínima y la cota nominal.

**Línea cero o línea de referencia:** Es la línea que define el límite nominal.

Los sistemas de ajustes y tolerancias están muy ligados al sistema de intercambiabilidad.

### **CLASIFICACIÓN DE LOS AJUSTES**

El ajuste se selecciona con base en los requerimientos funcionales, ejemplo: si se desea que una pieza se desplace dentro de la otra se utiliza un ajuste con juego, pero si se desea que las dos piezas queden firmemente sujetas se utilizará un ajuste forzado.

*"El ajuste deseado se logra aplicando tolerancias adecuadas a las partes ensambladas".*

Según la dirección en la que la variación es permitida las tolerancias se clasifican en Unilaterales y Bilaterales.

Ejemplos de Tolerancias Unilaterales:

$$25 \begin{matrix} +0.03 \\ 0 \end{matrix} \quad 50 \begin{matrix} 0 \\ -0.04 \end{matrix} \quad 10^\circ \begin{matrix} +30^\circ \\ 0 \end{matrix}$$

Ejemplos de Tolerancias Bilaterales:

$$25^{\pm 0.02} \quad 37.5 \begin{matrix} +0.02 \\ -0.01 \end{matrix} \quad 25^\circ 30' \pm 20'$$

### **FORMA DE EXPRESIÓN DE TOLERANCIAS**

La forma de expresar los límites dentro de los cuales pueden variar las dimensiones de una característica es el Dimensionamiento (Tolerancia) Límite, en el cual el límite superior especificado se coloca arriba del límite inferior especificado. Cuando se expresa en un solo renglón, el límite inferior procede al superior y un guión separa los dos valores.

Ejemplos de Dimensionamiento Límite:

$$\begin{matrix} 21 \\ 20 \end{matrix} \quad 10.5-10.6 \quad \begin{matrix} 8.5 \\ 8.4 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 20.5^\circ \\ 20.1^\circ \end{matrix}$$

Una forma más de expresar las tolerancias es mediante el sistema ISO, en el cual la dimensión especificada precede a la tolerancia expresada mediante una letra y un número. En sistema ISO se utilizan letras mayúsculas para características internas y minúsculas para características externas.

Ejemplos de Tolerancias ISO:

$$50H7 \quad 37g6 \quad 12.5h6 \quad 125H11$$

Los valores de algunas de las tolerancias más comunes se observan en la Tabla de Valores que proporcionan las Tolerancias ISO.

### ***CONDICIÓN O MODIFICADORES DE MATERIAL***

Estos modificadores son de los más importantes en tolerancias geométricas. Son necesarios cuando controlamos el tamaño de la característica tales como barrenos, ranuras, pernos, entre otros.

La Condición Máxima de Material (MMC por sus siglas en inglés) es cuando una característica de tamaño contiene la máxima cantidad de material, por ejemplo: el diámetro mínimo de un agujero o el diámetro máximo de un perno. Es usado para aplicaciones de claros o espacios.

La Condición Mínima de Material (LMC por sus siglas en inglés) es cuando la característica de tamaño contiene la mínima cantidad de material, por ejemplo: el diámetro máximo de un agujero o el diámetro mínimo de un perno. Es usado para aplicaciones de localización.

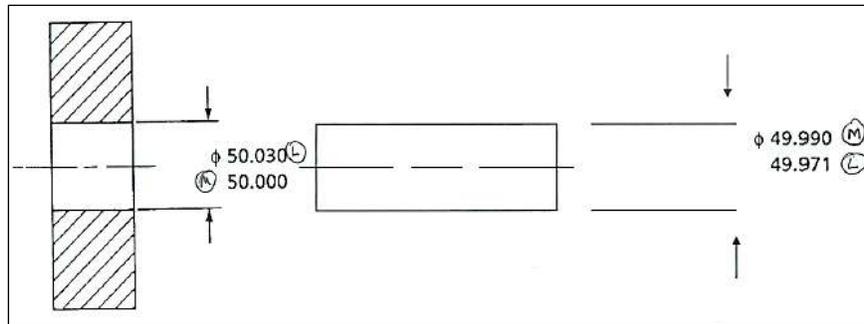
La Indiferencia Dimensional de la Figura (RFS por sus siglas en inglés) es cuando una tolerancia geométrica se aplica en forma independiente del tamaño de la figura. La tolerancia geométrica se limita a la cantidad definida, sin tomar en cuenta el tamaño de la figura. Es usado para ensambles a presión.

### ***DETERMINACIÓN DEL TIPO DE AJUSTE***

Para dos piezas que van a ensamblar tal vez sea necesario analizar el juego o interferencia que se producirá al ensamblarlas, Fig. 3.

Para determinar el juego mínimo basta pensar que este ocurrirá cuando las dos partes por ensamblar estén en su Condición de Material Máximo y el resultado será la diferencia entre las dos.

Para determinar el juego máximo basta pensar que este ocurrirá cuando las dos partes por ensamblar estén en su Condición de Material Mínimo y será la diferencia entre las dos (11).



**Fig. 3 Determinación del tipo de ajuste**

**Fuente (11)**

JUEGO MÍNIMO		JUEGO MÁXIMO	
MMC Característica Interna		LMC Característica Interna	
MMC Característica Externa		LMC Característica Externa	

Juego Mínimo	Juego Máximo
$50.000 - 49.990 = \mathbf{0.010}$	$50.030 - 49.971 = \mathbf{0.059}$

#### **2.4.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE GD&T**

La industria militar, la automotriz y muchas otras más han estado usando DTG por más de 40 años, debido a una razón muy sencilla: *REDUCE COSTOS*.

Algunas de las **Ventajas** que proporciona son:

- Mejora comunicaciones
 

DTG puede proporcionar uniformidad en la especificación de dibujos y su interpretación, reduciendo discusiones, suposiciones o adivinanzas. Los departamentos de diseño, producción e inspección trabajan con el mismo lenguaje.
- Mejora el diseño del producto
 

Facilita al diseñador mejores herramientas para “que diga exactamente lo que quiere”. Establece una filosofía en el dimensionado basada en la función en la fase del diseño de la pieza, llamada dimensionado funcional, que estudia la función en la fase del diseño y establece tolerancias de la pieza basado en sus necesidades funcionales.

➤ Incrementa tolerancias para producción

Hay dos maneras por las que las tolerancias se incrementan con el uso de DTG. Primero, bajo ciertas condiciones DTG proporciona tolerancias extras para la fabricación de las piezas, que permiten obtener ahorros en los costos de producción. Segundo, basado en el dimensionado funcional, las tolerancias se asignan a la pieza tomando en cuenta sus más grandes para fabricarla y se elimina la posibilidad de que el diseñador copie tolerancias de otros planos o asigne tolerancias demasiado cerradas cuando no hay alguna referencia para determinar tolerancias funcionales.

### **Desventajas**

Sin embargo, hay algunos problemas con DTG. Uno es la carencia de centros de capacitación, debido a que hay pocas escuelas o Institutos que proporcionen este tipo de entrenamiento. Mucho del aprendizaje viene de personas que están suficientemente interesadas en leer artículos y libros para aprender por sí solos.

Otro problema es el gran número de malos ejemplos sobre DTG en algunos dibujos actuales. Hay literalmente miles de dibujos en la industria que tienen especificaciones sobre dimensiones incompletas o no -interpretables, lo que hace muy difícil, aunque no imposible, corregir e interpretar apropiadamente a los dibujos con DTG (14).

### **2.4.5. DIMENSIONADO FUNCIONAL**

El dimensionado funcional es una filosofía del dimensionado y de las tolerancias de una pieza basado en el cómo debe funcionar. Cuando se dimensiona funcionalmente una pieza, el diseñador realiza un análisis funcional, que es un proceso donde el diseñador identifica las funciones de la pieza y usa esta información para definir las dimensiones y tolerancias de la pieza real. El dimensionado funcional y el análisis funcional es una herramienta muy importante en diseño, pero convertirse en un buen diseñador con DTG puede implicar muchos años de esfuerzo. Los beneficios para la persona en forma individual y para la compañía retribuyen los esfuerzos realizados y algunos de ellos se mencionan a continuación:

➤ El diseñador desarrollará un objetivo de la filosofía en el diseño.

- El diseñador desarrolla una interpretación real de cada pieza tomando en cuenta su funcionamiento.
- Algunos problemas potenciales de la pieza se identificarán desde la etapa de diseño.
- Puede establecerse un método objetivo para evaluar cambios en la pieza.
- Se pueden obtener tolerancias mayores para la fabricación de la pieza. Las tolerancias se basan en la máxima tolerancia admisible, de manera que no afecte la función del producto.
- Promueve mejores comunicaciones entre los departamento de diseño y desarrollo de producto.
- En muchos casos las tolerancias de las piezas requieren pocos cambios, debido a que trabajan a su máximo valor.

#### **2.4.6. DEFINICIONES UTILIZADAS EN GD&T**

En DTG se utilizan ampliamente los términos “figura” y “figura dimensional” y es muy importante entender completamente el significado de esos términos. Una **figura** es un término general aplicado a una sección física de la pieza, como una superficie, un agujero o una ranura. Una **figura dimensional** es una superficie cilíndrica, esférica o recta o un conjunto de superficies paralelas, cada una de las cuales están asociadas a una dimensión de tamaño.

Una **dimensión de localización** es una medida que localiza la línea central o el plano central de una figura en relación con la línea central o plano central de otra figura (16). En la Fig. 4 se muestran ejemplos de esas definiciones, las letras “A-B” y “D-E” se representa una figura; la letra “C” y de las letras “F-J” representan una figura dimensional y las restantes letras “K, L y M” representan dimensiones de localización o posición.

Cuando se refiere a una figura dimensional en uno de sus valores extremos existen tres términos que se usarán amplia y frecuentemente en este trabajo: MMC, LMC y RFS que se explicaron en el tema 2.4.3.

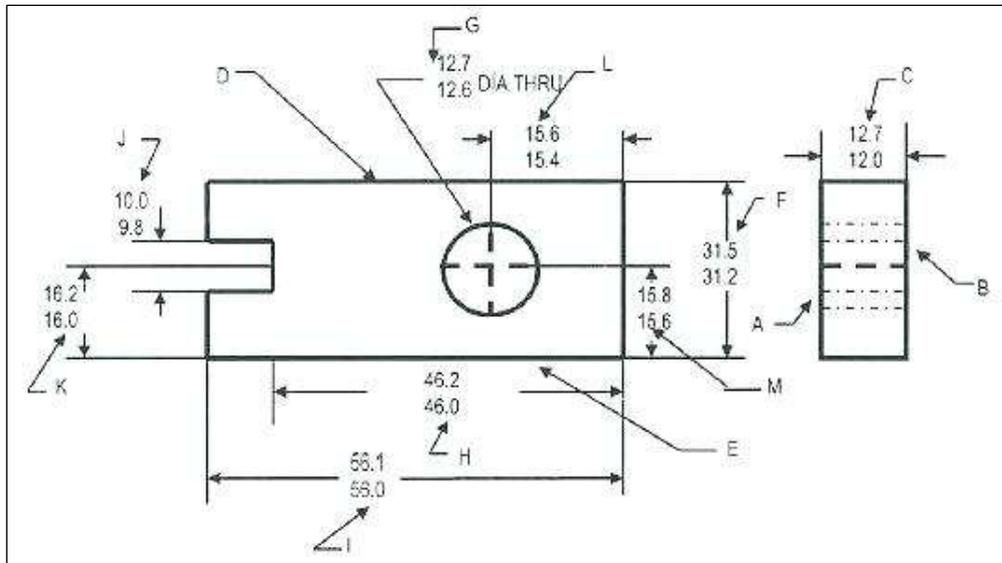


Fig. 4 Definiciones de GD&T

Fuente (11)

## 2.4.7. SÍMBOLOS PARA CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y MODIFICADORES

Hay trece símbolos de características geométricas usados en el lenguaje de DT&G y se muestran en el ANEXO 3. Están divididos en cinco categorías: forma, orientación, localización, variación y perfil. Más adelante se explicarán detalladamente algunos símbolos propios para el desarrollo de este trabajo. La característica de forma nunca usa referencia a un Datum; las demás características siempre usan referencia a un Datum.

Datum son planos de referencia utilizados en la verificación dimensional de la parte. Los Datums se explican posteriormente.

Además de los símbolos de las características geométricas hay cinco símbolos modificadores usados en DTG y se muestran en la Fig. 5. Todos los símbolos se basan en la norma ANSI.Y14.5M-2009 (16).

Por sí mismas, las dimensiones lineales con tolerancia, o límites de tamaño, no tienen un control específico sobre muchas otras variaciones de forma, orientación y hasta cierto grado de posición.

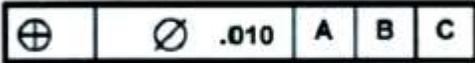
DESCRIPCIÓN	SIMBOLOS
<b>Marco de Control</b>	
Diámetro	
Diámetro Esférico	S 
Condición máxima de material	
Condición mínima de material	
Zona de tol. Proyectada	
Estado Libre	
Plano tangente	
Tolerancia estadística	
Sin importar su dimensión	

Fig. 5 Símbolo de Modificadores

Fuente (11)

Estas variaciones podrían ser errores de paralelismo o perpendicularidad, o desviaciones provocadas por la flexión de partes, lóbulos y excentricidad.

Para satisfacer los requerimientos funcionales, a menudo es necesario controlar tales desviaciones. Se agregan tolerancias geométricas para garantizar que las partes no sólo estén dentro de los límites de tamaño, sino que también estén dentro de los límites especificados de forma geométrica, orientación y posición.

Las tolerancias básicas son las de forma simple de rectitud o planicidad, las tolerancias de orientación de perpendicularidad y paralelismo, y las tolerancias de posición para la ubicación de barrenos.

Una **tolerancia geométrica** es la variación máxima permisible de forma, perfil, orientación, ubicación y descentrado de lo indicado o especificado en un dibujo. El valor de tolerancia representa el ancho o diámetro de la zona de tolerancia, dentro de la cual, debe quedar una línea o superficie de detalle.

De esta definición se desprende que se permitiría que un detalle tenga cualquier variación de forma, o que adopte cualquier posición, dentro de la zona de tolerancia geométrica especificada (15).

De acuerdo con la característica objeto de la tolerancia y de la forma en que esté acotada, la zona de tolerancia puede ser una de las siguientes (17):

- La superficie de un círculo.
- La superficie comprendida entre dos círculos concéntricos.
- La superficie comprendida entre dos rectas paralelas o dos líneas equidistantes.
- El espacio interior a un cilindro.
- El espacio comprendido entre dos cilindros coaxiales.
- El espacio comprendido entre dos planos paralelos o dos superficies equidistantes.
- El espacio interior a un paralelepípedo.

Las partes son compuestas por características que no tienen relación una con otra. Para establecer una relación entre dichas características se tiene que establecer un sistema de coordenadas con Datum o referencia. Las zonas de tolerancias geométricas pueden ser 3D o 2D (11).

**Puntos, líneas y superficies** La producción y medición de partes de ingeniería tiene que ver, en la mayoría de los casos con superficies de objetos. Estas superficies pueden ser planas, cilíndricas, cónicas o esféricas o tener una forma o contorno más o menos irregular. La medición, sin embargo, por lo general ocurre en puntos específicos. Una línea o superficie se evalúa dimensionalmente mediante una serie de mediciones en varios puntos a lo largo de su longitud.

Las tolerancias geométricas tienen que ver principalmente con puntos y líneas y se considera que las superficies se componen de una serie de elementos lineales que corren en dos o más direcciones (15). En el ANEXO 3 se muestran ejemplos de indicación e interpretación de tolerancias geométricas.

Los puntos tienen posición pero no tamaño, de modo que la posición de la parte es la característica que requiere control. Las líneas y superficies tienen que ser controladas en cuanto a forma, orientación y ubicación. Por consiguiente, las tolerancias permiten controlar estas características, como se muestra en el ANEXO 4.

## CUADRO DE CONTROL DE FIGURA

Las tolerancias geométricas y sus modificadores se aplican a través de un cuadro de control, que es un rectángulo dividido en varias secciones donde se dibujan los símbolos de las características, valores de las tolerancias y las referencias de Datum. Este cuadro de control es probablemente el más importante símbolo en las Tolerancias Geométricas (14). En la Fig. 6 se muestra el cuadro de control y sus secciones y en la Fig. 7 se muestra un dibujo donde se aplica el cuadro de control.

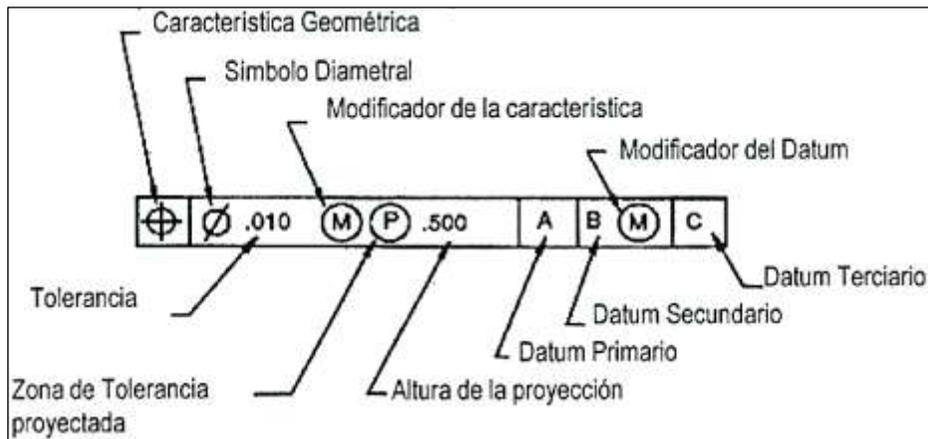


Fig. 6 Cuadro de Control de Figura

Fuente (11)

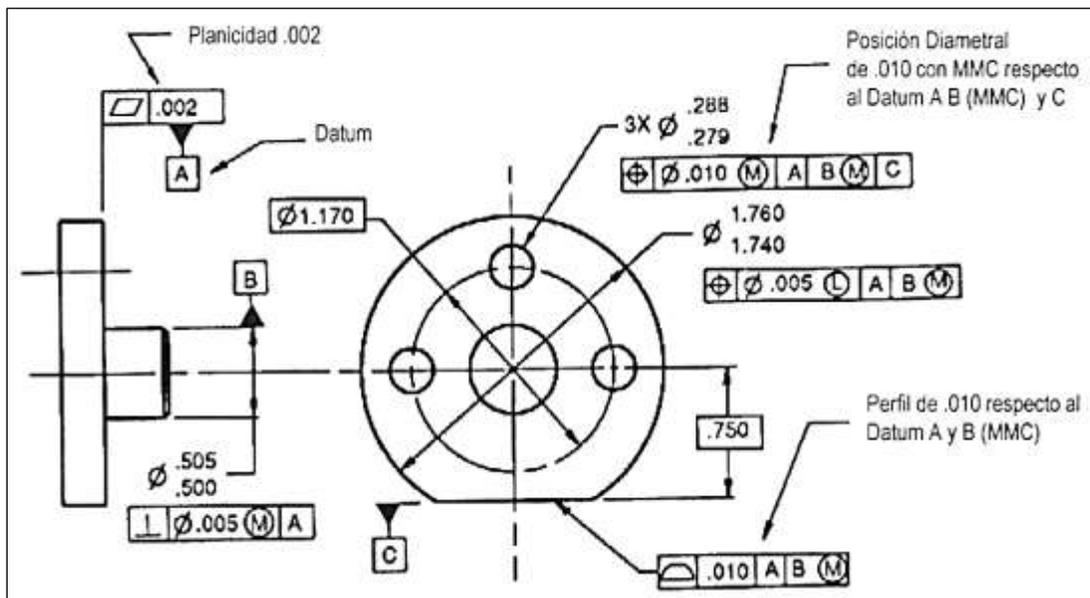
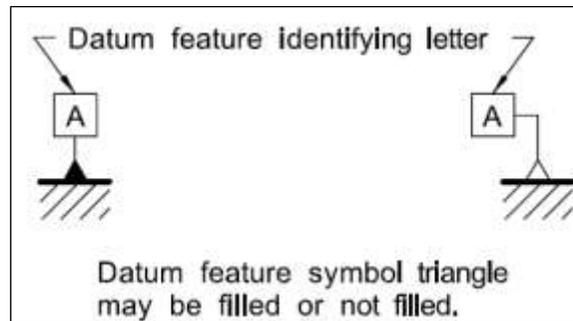


Fig. 7 Aplicación del Cuadro de Control de Figura

Fuente (11)

## **SÍMBOLO PARA DATUM O REFERENCIA**

En la norma ANSI Y14.5 1982, el símbolo para el Datum fue una caja rectangular con dos guiones, esto fue cambiando con la norma ASME Y14.5 1994 a un nuevo símbolo como se muestra en la Fig. 8; este cambio fue hecho para unificar los estándares de los Estados Unidos a las normas internacionales (16).



**Fig. 8 Símbolo Datum**

Fuente (16)

## **DIMENSIONES BÁSICAS**

Una dimensión básica es un valor numérico usado para describir teóricamente características exactas de una figura o referencia. Es la base para establecer variaciones permisibles por tolerancias sobre otras dimensiones, en notas o en un símbolo de control. Las dimensiones previamente usadas como “medibles” (las dimensiones sin tolerancia usadas para establecer puntos, líneas o planos de verificación-medición) también se pueden especificar como dimensiones básicas.

Si se utilizan dimensiones básicas para definir las características (figuras) de una parte, se tienen que agregar tolerancias de variación permisible de cada localización especificada por la dimensión básica. Si las dimensiones básicas son utilizadas para definir dimensiones de verificación, como datums -objetivo, entonces no se usan tolerancias geométricas.

Datums-objetivo son puntos de verificación.

En este caso aplicarán las tolerancias del fabricante del equipo de medición (una tolerancia infinitamente más pequeña que la tolerancia de producción). Las dimensiones básicas se definen por una de tres maneras; encerrando el valor numérico en un rectángulo, poniendo

la palabra “básica” (basic en inglés) después de la dimensión o por el uso de una nota general como se muestra en la Fig. 9.

Si no se hace otra anotación todas las Dimensiones sin Tolerancias son Básicas (14).

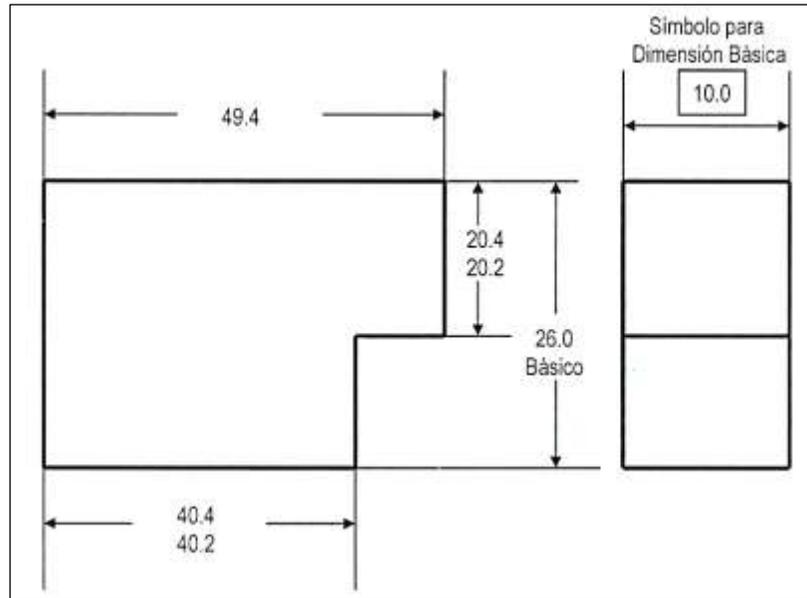


Fig. 9 Dimensiones Básicas

Fuente (11)

#### 2.4.8. TOLERANCIAS EXTRA

Cuando se aplica una tolerancia geométrica a una figura dimensional y cuando ésta contenga un modificador MMC en la sección de la tolerancia del cuadro de control, entonces es posible que haya una tolerancia permisible extra.

Cuando el modificador MMC se usa en esta forma significa que la tolerancia definida se aplica cuando la figura dimensional está en su condición de máximo material (MMC) y se permite un incremento en la tolerancia marcada, igual al valor de la desviación.

A esta tolerancia se le conoce como TOLERANCIA EXTRA y en la Fig. 10 se muestra un ejemplo para una aplicación de linealidad (14).

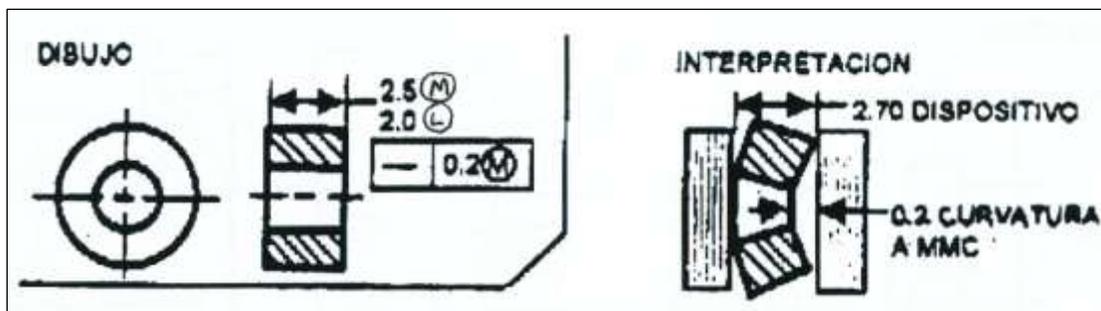


Fig. 10 Tolerancia Extra

Fuente (11)

El valor de la tolerancia extra parte de la tolerancia para una figura dimensional y es igual a la cantidad de la variación de la figura dimensional desde su MMC como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 Tolerancia Extra

Fuente (11)

TAMAÑO FIGURA	TOLERANCIA LINEARIDAD	TOLERANCIA EXTRA	TOLERANCIA TOTAL
2.5 MMC	0.2	0	0.2
2.4	0.2	0.1	0.3
2.3	0.2	0.2	0.4
2.2	0.2	0.3	0.5
2.1	0.2	0.4	0.6
2.0 LMC	0.2	0.5	0.7
<b>NOTA: LA MÁXIMA TOLERANCIA EXTRA OCURRE CUANDO LA FIGURA DIMENSIONAL ESTA A LMC</b>			

### **EFECTO DE LA CONDICIÓN MÁXIMA DE MATERIAL (MMC)**

Dependerá del diámetro en que la pieza es producida y se conseguirá una tolerancia de posición adicional o bono. El máximo bono es obtenido cuando el barreno es producido en su Mínima Condición de Material (11) como se muestra en la Fig. 11.

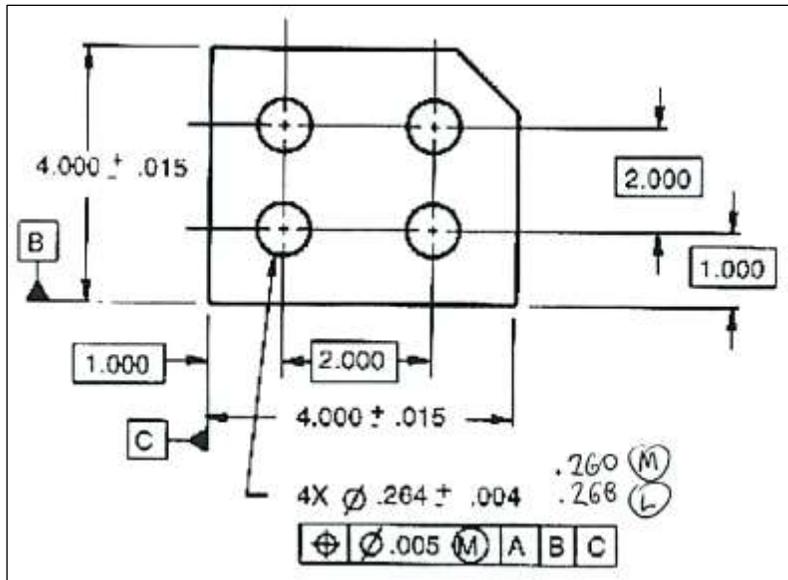


Fig. 11 Efecto de la MMC

Fuente (11)

La MMC indicada en el marco de control consigue una Tolerancia de posición adicional según sea el diámetro de la característica como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3 Efecto de la MMC

Fuente (11)

TAMAÑO DEL DIÁMETRO	ZONA DE TOLERANCIA PERMITIDA
0.260	0.005
0.261	0.006
0.262	0.007
0.263	0.008
0.264	0.009
0.265	0.010
0.266	0.011
0.267	0.012
0.268	0.013

### **EFFECTO DE LA CONDICIÓN MÍNIMA DE MATERIAL (LMC)**

Dependerá del diámetro en que la pieza es producida y se conseguirá una tolerancia de posición adicional o bono. El máximo bono es obtenido cuando el barreno es producido en su Máxima Condición de Material. El ejemplo es similar a la figura anterior, solo cambia en el cuadro de control el símbolo de MMC a LMC (11).

La LMC indicada en el marco de control consigue una Tolerancia adicional de posición dependiendo del diámetro de la característica como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4 Efecto de la LMC**

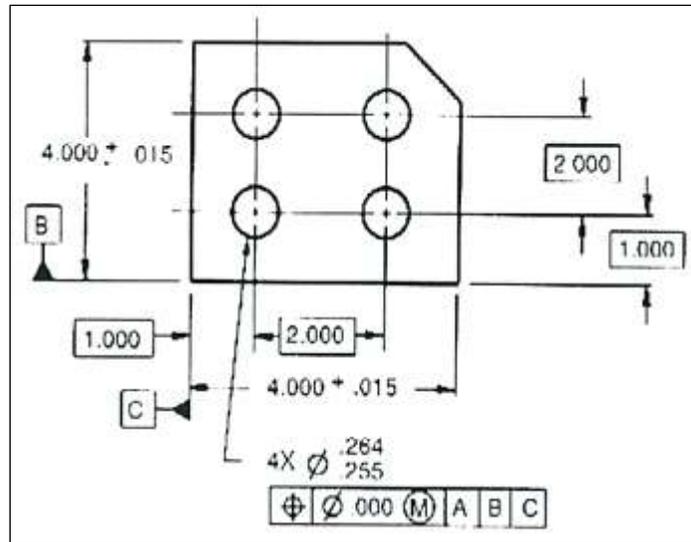
Fuente (11)

<b>TAMAÑO DEL DIÁMETRO</b>	<b>ZONA DE TOLERANCIA PERMITIDA</b>
<b>0.268</b>	0.005
<b>0.267</b>	0.006
<b>0.266</b>	0.007
<b>0.265</b>	0.008
<b>0.264</b>	0.009
<b>0.263</b>	0.010
<b>0.262</b>	0.011
<b>0.261</b>	0.012
<b>0.260</b>	0.013

### **EFFECTO DEL MODIFICADOR CON TOLERANCIA CERO**

Si la característica en el marco de control es especificada con tolerancia cero se deberá aplicar MMC o LMC. El concepto RFS no es aplicable con Tolerancia Cero.

En el siguiente ejemplo se aplica MMC para una pieza con barrenos (11).



**Fig. 12 Efecto del modificador con Tolerancia Cero**

Fuente (11)

El modificador MMC en el marco de control permite una Tolerancia de posición adicional como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 5 Efecto del Modificador con Tolerancia Cero**

Fuente (11)

TAMAÑO DEL DIÁMETRO	TOLERANCIA DIÁMETROS PERMITIDA
0.255	0.000
0.256	0.001
0.257	0.002
0.258	0.003
0.259	0.004
0.260	0.005
0.261	0.006
0.262	0.007
0.263	0.008
0.264	0.009

## CONDICIÓN VIRTUAL

Cuando se analizan componentes que se ensamblan con otros como se muestra en la Fig. 13, o cuando se diseñan dispositivos calibradores o medidores, es importante que se pueda calcular un límite teórico extremo para las características de la pieza.

La Condición Virtual es el límite teórico extremo de una figura dimensional generado por los efectos acumulados de MMC y cualquier tolerancia geométrica aplicable.

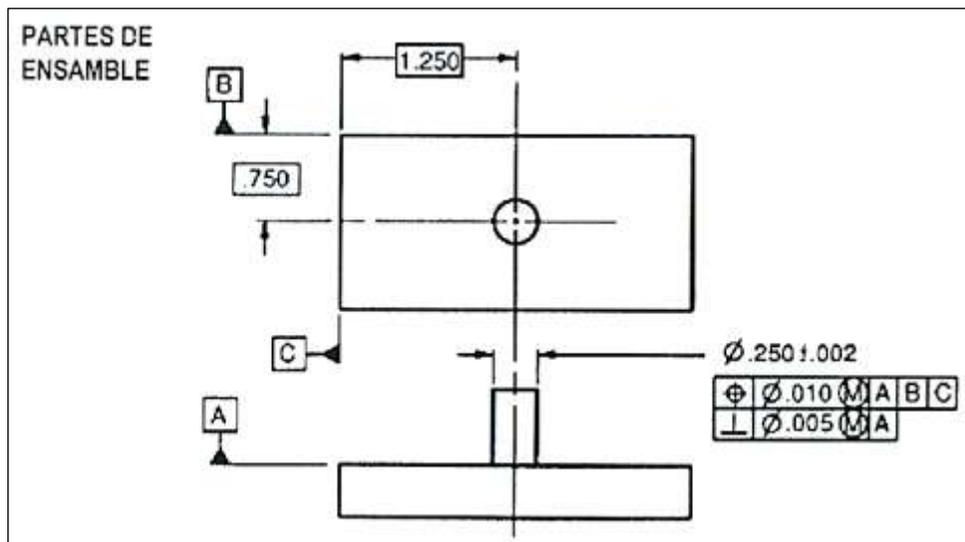


Fig. 13 Partes Ensambladas

Fuente (11)

Dependiendo de la función de la pieza una característica puede ser controlada por tolerancias de Forma, Orientación y Localización.

Esta consideración debe ser tomada en cuenta para los aspectos colectivos cuando determinamos los claros que debe haber entre partes de ensamble o un Gage de control dimensional. El efecto colectivo de estos factores se denomina Condición Virtual.

La Condición Virtual es un límite constante generado por los efectos colectivos de la característica especificada en MMC, LMC y la Tolerancia Geométrica para esa Condición Virtual como se muestra en la Fig. 14.

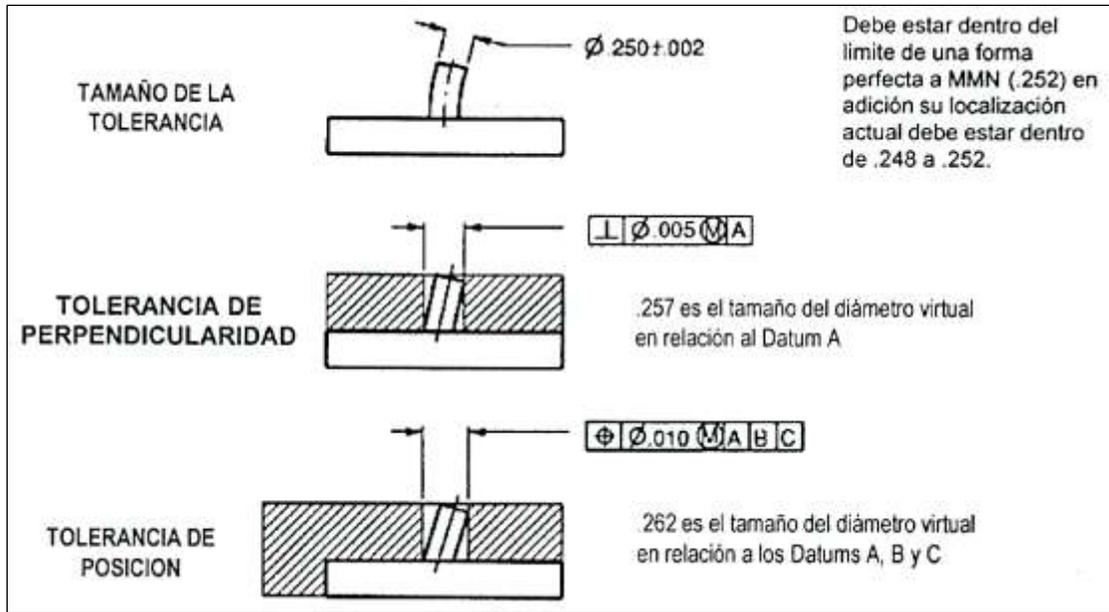


Fig. 14 Condición Virtual

Fuente (11)

Todas las figuras dimensionales tienen una condición virtual. Cuando no se aplica una tolerancia geométrica a una figura dimensional su condición virtual es igual a su MMC más el efecto de una forma perfecta. Esta condición se muestra en la Fig. 15. Si una tolerancia geométrica cancela la forma perfecta entonces sus efectos deberán considerarse en la determinación de la condición virtual. Un ejemplo de esto se encuentra en la Fig. 16.

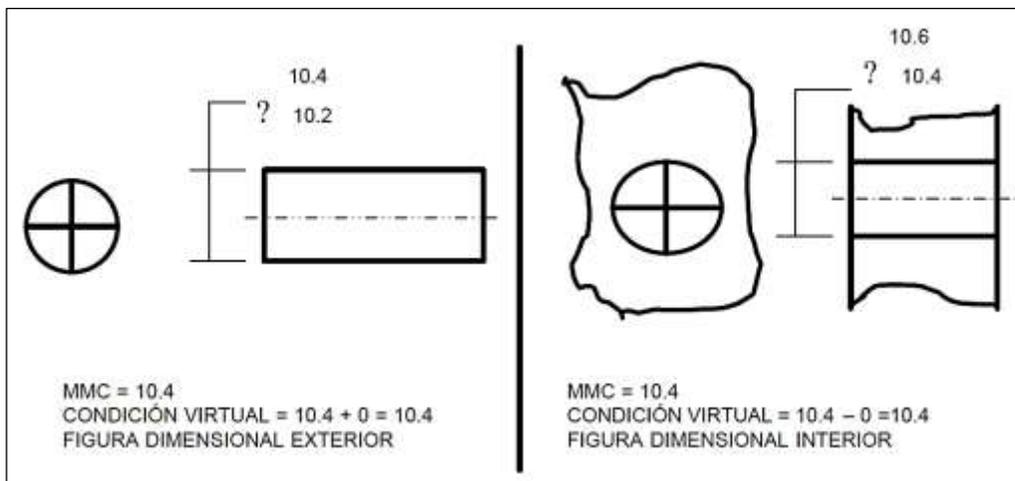


Fig. 15 Condición Virtual Forma Perfecta

Fuente (14)

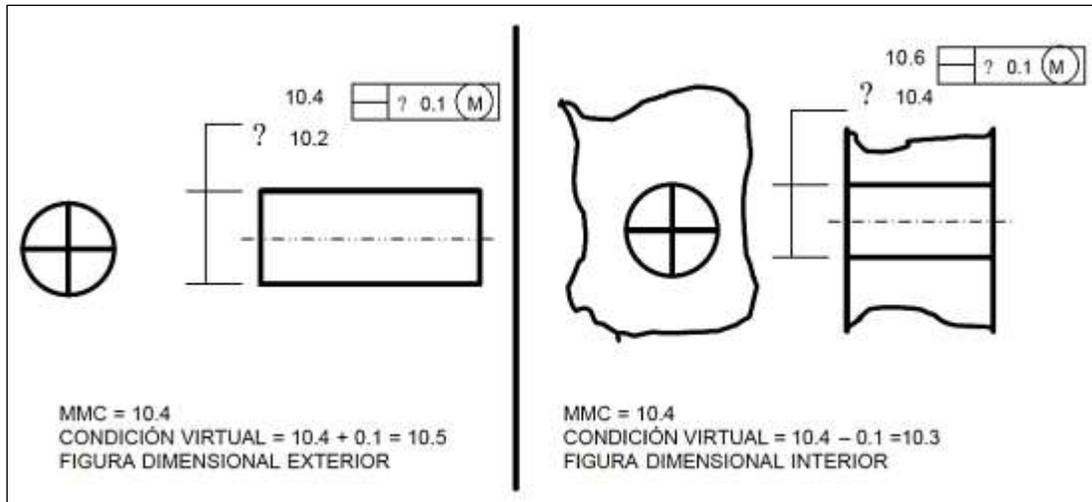


Fig. 16 Condición Virtual usando Tolerancias Geométricas

Fuente (14)

El concepto de la Condición Virtual es utilizado por los siguientes grupos de personas (14):

- Diseñadores del Producto: Para calcular Condiciones extremas en el análisis de partes que embonan entre sí.
- Inspectores: Para determinar Condiciones extremas para el montaje del equipo de inspección.
- Diseñadores de dispositivos de verificación: Para calcular dimensiones de los dispositivos.

### 2.4.9. DATUM

Un Datum es un punto, una línea, un eje o plano teóricamente exacto que indica la relación dimensional entre una figura controlada por tolerancias y una figura de la pieza señalada como un Datum, que sirve como figura de Datum mientras que su contraparte ideal (el dispositivo medidor o calibrador) establece el eje o plano de Datum como se muestra en la Fig. 17. Por razones prácticas se supone que existe un Datum y se simula con un dispositivo de inspección o fabricación como mesas o placas planas, mandriles o superficies de equipos medidores (14).

La referencia Datum es el concepto más importante en un Sistema de Tolerancias Geométricas. Es la referencia de la cual parte la construcción de la pieza.

La referencia Datum se conceptúa como 3 Planos Perpendiculares y exactamente a 90 grados uno del otro.

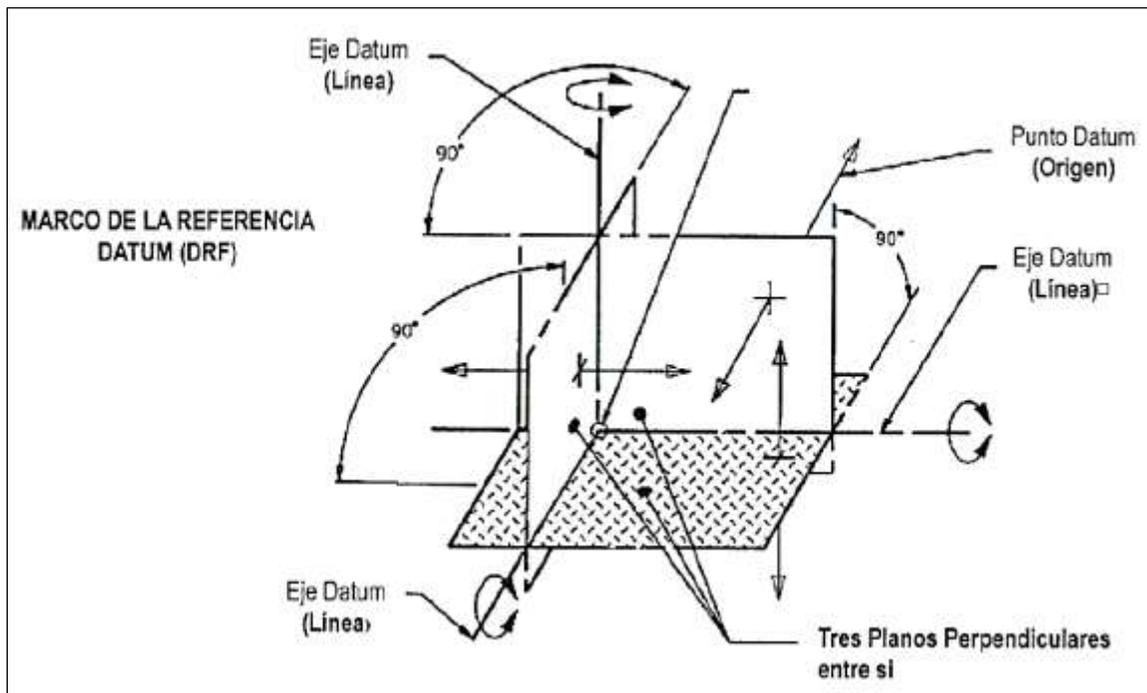


Fig. 17 Marco de Referencia Datum

Fuente (11)

### OBJETIVO DE LOS DATUMS

Los datums se usan principalmente para localizar una pieza de manera repetible para revisar tolerancias geométricas relacionadas a las figuras de Datum.

Además los datums proporcionan información de diseño funcional acerca de la pieza. Por ejemplo, la figura de Datum en un dibujo de una pieza orienta y dirige a los usuarios del dibujo para su correcto montaje y ensamble y con el Datum primario se puede establecer cuál es la sección más importante de la pieza en su ensamble (11).

Una figura de Datum es una figura ideal de la pieza que hace contacto, o se usa para establecer un Datum; es decir las figuras Datum son características de la pieza y los datums son planos o ejes teóricos de referencia. Los datums se marcan o señalan en el cuadro de control. El Datum primario se señala en el compartimiento que está al lado de la sección de tolerancias, seguida del Datum secundario y terciario (14). Vea Fig. 18.

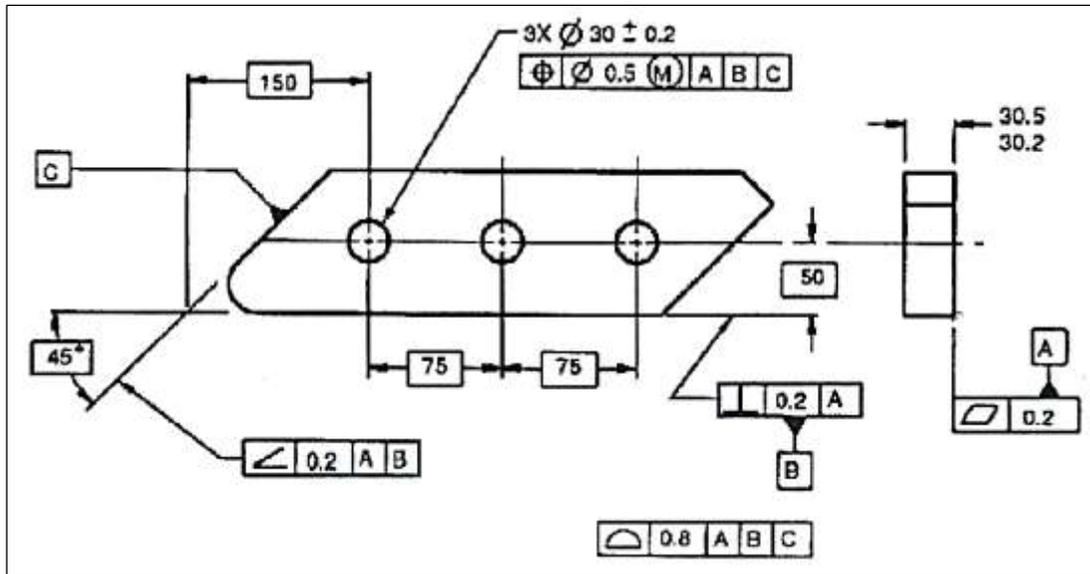


Fig. 18 Datum Primario, Secundario y Terciario

Fuente (11)

### CÓMO SELECCIONAR UNA FIGURA DE DATUM

Los datums se seleccionan sobre la base de los requerimientos funcionales de diseño de la pieza (14).

### FIGURAS DE DATUM PLANAS

En esta sección se tratarán sólo los datums de figuras planas. En algunos casos, para las medidas requeridas, un solo Datum se considera suficiente, y el Datum se considera primario. Un Datum primario siempre establece la posición de la pieza para medirla. Un plano de Datum es un plano teórico que hace contacto con los tres puntos más altos de la figura de Datum y las medidas deben ser hechas perpendiculares al plano de Datum. Cuando se mida una tolerancia geométrica con respecto a un Datum, los tres puntos más altos de la figura de Datum (en la superficie) deben de estar en contacto con el plano de Datum. Solamente las dimensiones de la pieza están relacionadas a un Datum a través de tolerancias geométricas o notas especiales deberán medirse respecto a un plano (14).

### MARCO DE REFERENCIA DE DATUM

Cuando se necesita más de un plano de Datum para medidas repetitivas se utiliza un marco de referencia de Datum. Un marco de referencia de Datum es un conjunto de tres planos mutuamente perpendiculares, como se mostró en la Fig. 17, y esos planos proporcionan

dirección y origen para las mediciones. Para medidas especificadas, las figuras de Datum de la pieza hacen contacto con el plano de Datum.

Los planos de un marco de referencia de Datum están por definición exactamente a 90° cada uno respecto al otro, pero la superficie real de la pieza debe tener una tolerancia angular especificada en el dibujo. Cuando se hagan medidas a una pieza que están relacionadas a un marco de referencia de una manera definida. La primer figura de la parte en contacto con el marco de referencia de Datum es el Datum primario, la segunda figura de la pieza en contacto con el marco de referencia de Datum es el Datum secundario y la tercer figura de la pieza en contacto con el marco de referencia de Datum es el Datum terciario (16). Los símbolos de control de las figuras especifican cuales datums son primarios, secundarios y terciarios. Vea Fig. 19.

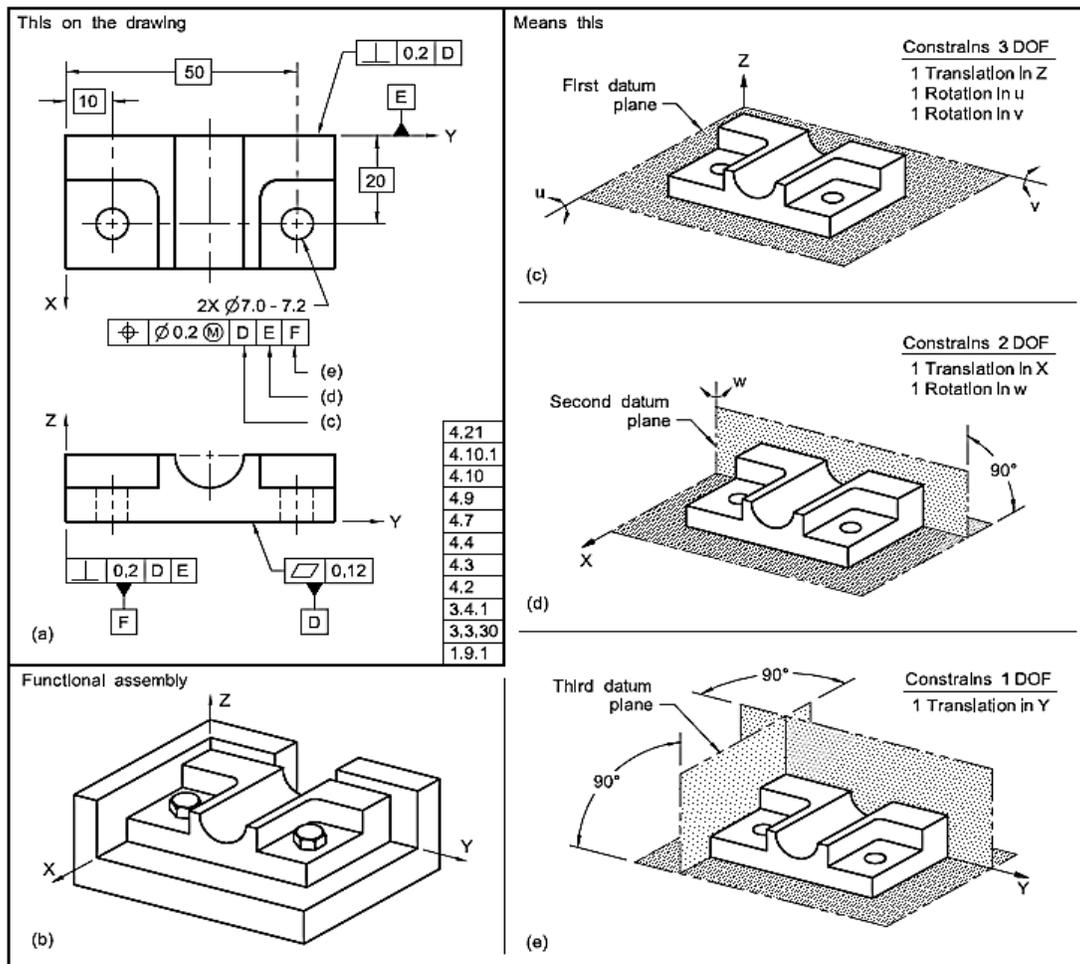


Fig. 19 Especificación de Datums

Fuente (16)

### REGLA 3-2-1

La regla 3-2-1 define el número mínimo de puntos de contacto requeridos para una figura de Datum primaria, secundaria y terciaria con sus respectivos planos de referencia de Datum. Vea Fig. 20.

La figura de Datum primaria requiere al menos tres puntos de contacto con su plano de Datum.

La figura de Datum secundaria requiere al menos dos puntos de contacto con su respectivo plano de referencia (plano de Datum).

La figura de Datum terciaria requiere al menos un punto de contacto con su plano de Datum. La regla 3-2-1 se aplica solamente a figuras de Datum planos (14).

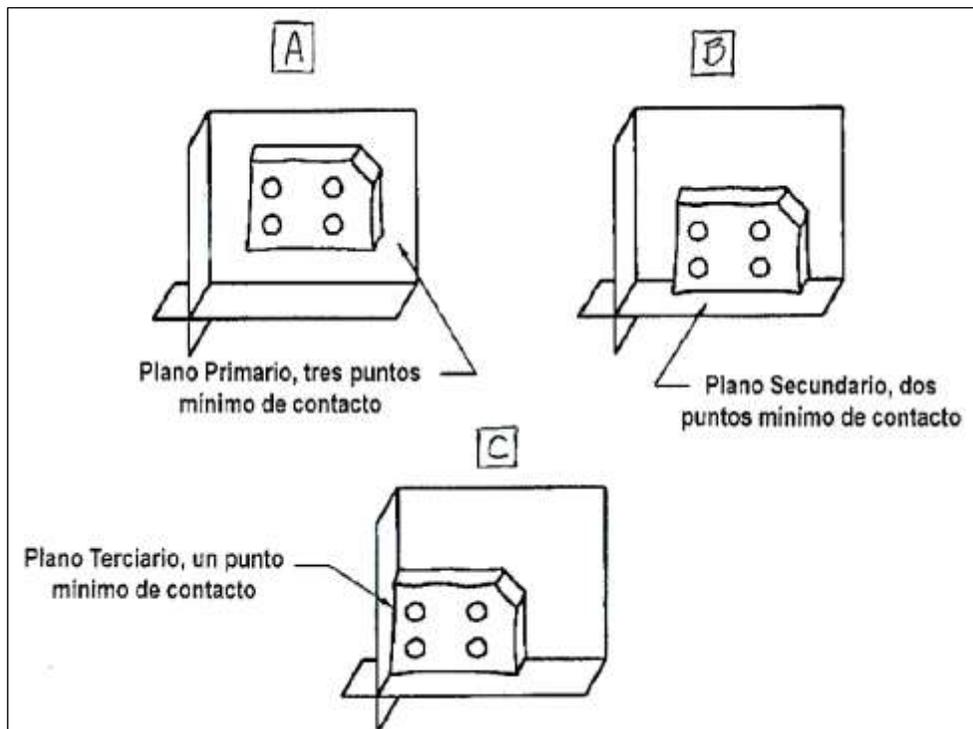


Fig. 20 Regla 3-2-1

Fuente (11)

Esta regla tiene como objetivo eliminar los 6 grados de libertad que tiene una parte, como se muestra en la siguiente figura:

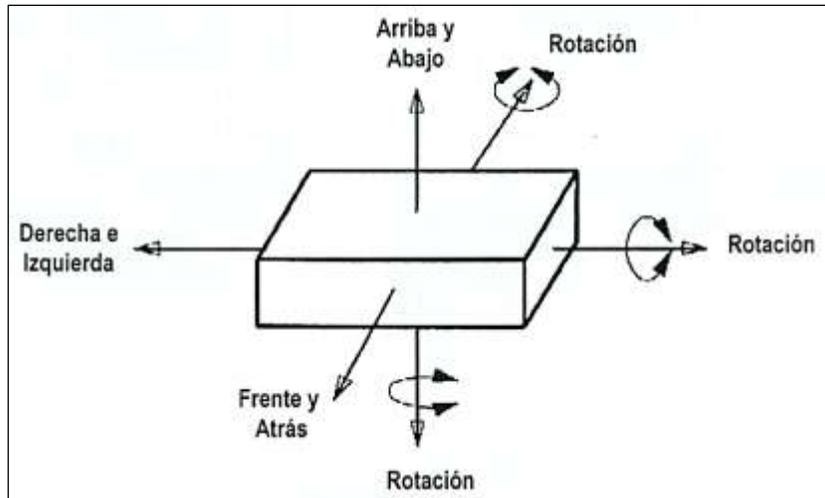


Fig. 21 Grados de libertad de una parte

Fuente (11)

### APLICACIONES A MMC

El Datum también puede contener Modificadores como MMC, el eje Datum a MMC define la Localización para todas las características (11).

También como Datum B a MMC su eje puede ser desplazado en una Zona Diametral. Vea Fig. 22

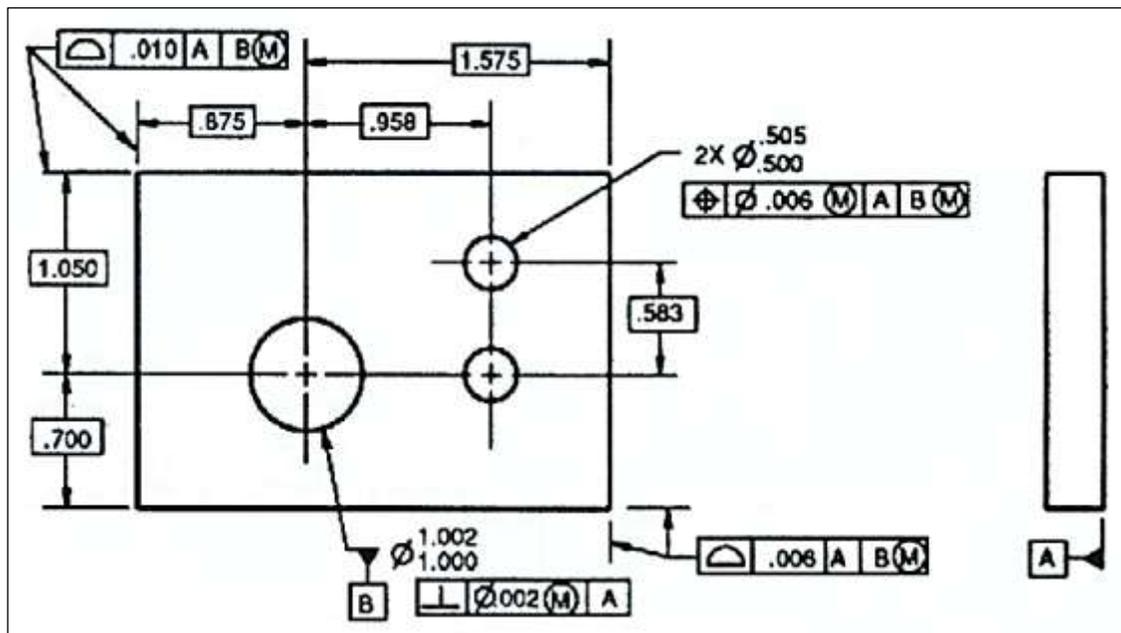


Fig. 22 Aplicación a MMC

Fuente (11)

Esto significa:

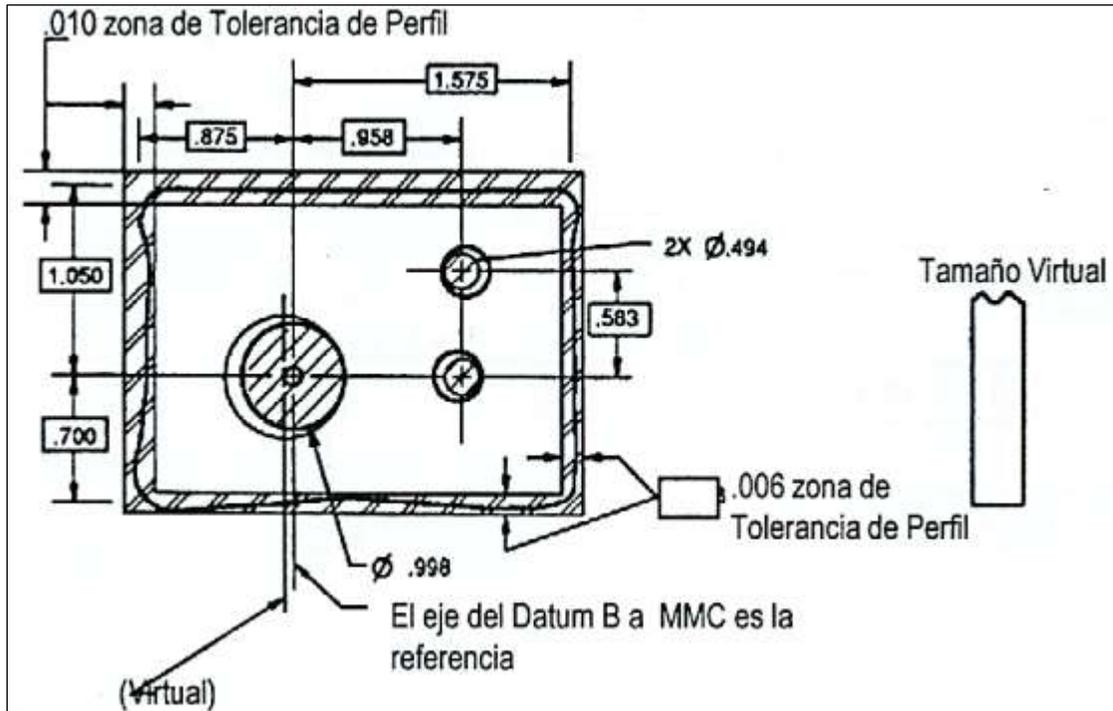


Fig. 23 Interpretación de Aplicación a MMC

Fuente (11)

El eje del Datum B a LMC se le permite ser desplazado relativo al Datum B a MMC en este caso 0.004 zona diametral como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6 Interpretación de Aplicación a MMC

Fuente (11)

Datum B Tamaño Virtual	Datum B tamaño Virtual Actual	Desplazamiento permitido del Datum B
Ø.998	Ø.998	Ø.000
	Ø.999	Ø.001
	Ø.100	Ø.002
	Ø.101	Ø.003
	Ø.102	Ø.004

## DATUM OBJETIVO (TARGET)

Los *Datums-objetivo* son puntos, líneas o áreas de contacto designados para localizar o posicionar una pieza en un marco de referencia de Datum. Los Datums objetivo se muestran sobre las superficies de la pieza en un dibujo de ingeniería, pero describen la forma de colocar el calibrador o dispositivo para simular los planos de Datum. Deberá considerarse el uso de datums-objetivo siempre que la superficie total de la pieza cause incertidumbre de que se obtendrán mediciones repetibles, como son las piezas fundidas, forjadas, con superficies inclinadas u onduladas que pueden variar cuando estén en contacto con un plano teóricamente plano. Los puntos, líneas o áreas de datums-objetivo se identifican con un símbolo, como se muestran en la Fig. 24. Una línea continua, del símbolo del Datum-objetivo a la superficie de la pieza indica que el Datum está sobre la superficie visible de la pieza. Una línea punteada del símbolo del Datum-objetivo está en la superficie oculta de la pieza (14). Además, la figura de Datum deberá identificarse con un símbolo de designación del Datum como se muestra en la Fig. 24.

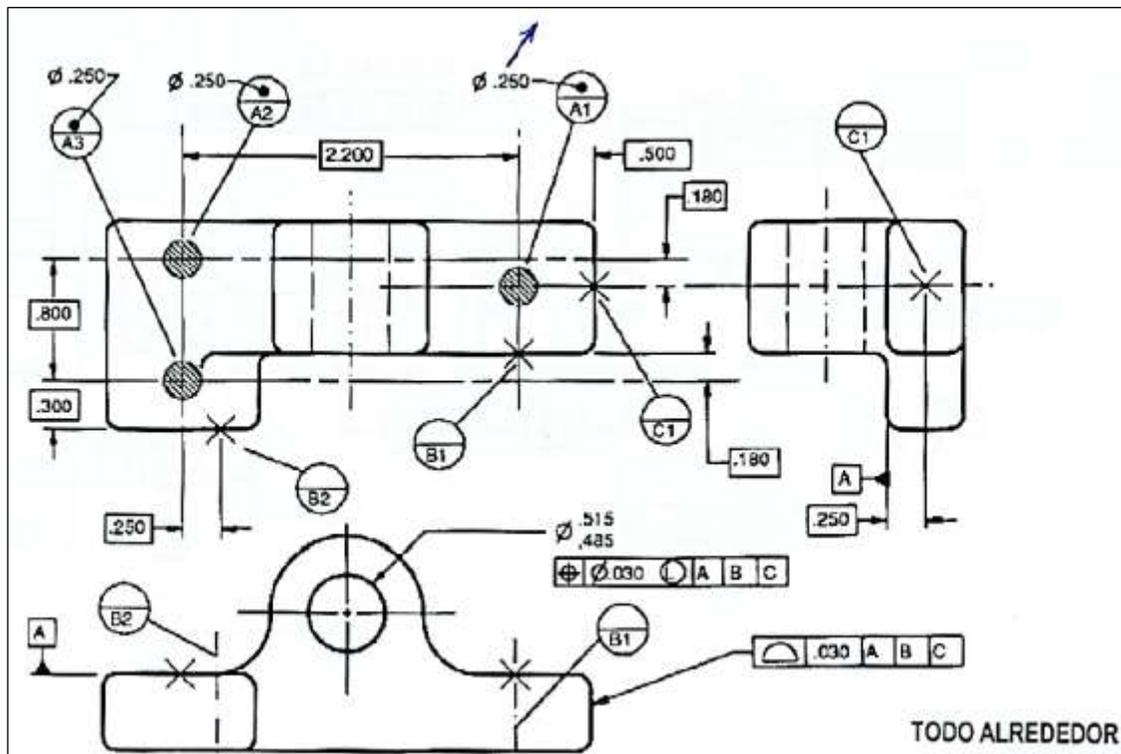


Fig. 24 Datum Objetivo

Fuente (11)

A continuación se muestra el ejemplo de un dispositivo fabricado con sus puntos de Localización usando Dimensiones Básicas con el concepto de puntos de contacto 3-2-1, Primario, Secundario y Terciario. Vea Fig. 25.

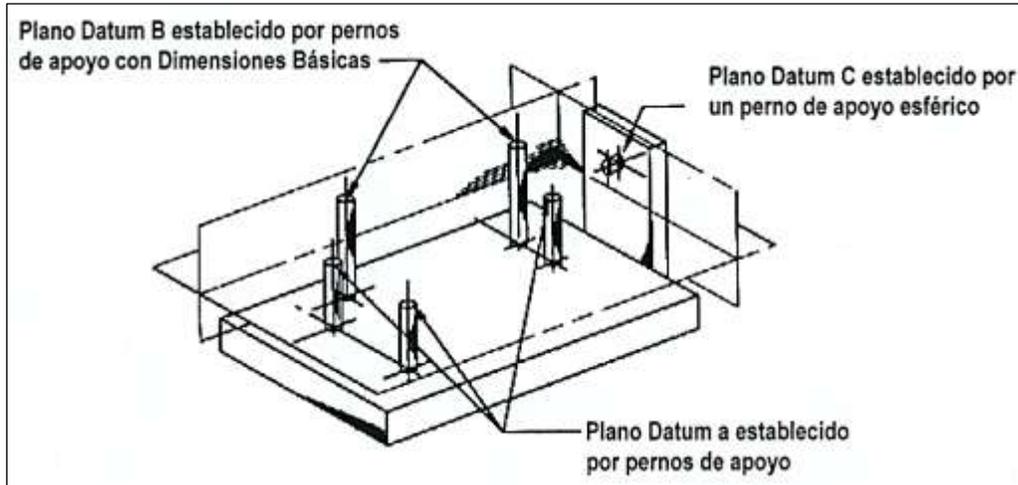


Fig. 25 Ejemplo Datum Objetivo  
Fuente (11)

En algunos casos, para características como es un "Slot" (barreno oblongo) se considera para su evaluación de posición 2 características con diferente Tolerancia ya que el diámetro varía como se muestra en el dibujo siguiente. Para este caso se tendrá que usar dos Marcos de Control y no podrá ser diametral la Zona de Tolerancia (11).

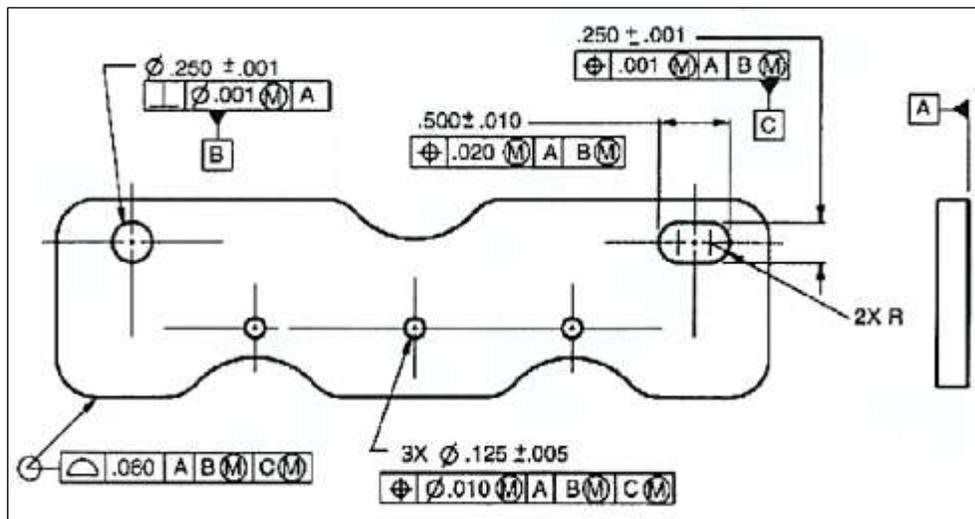


Fig. 26 Ejemplo de un Slot  
Fuente (11)

## 2.4.10. TOLERANCIAS DE PERFIL

Hay dos tipos de Tolerancias de Perfil que son:

- a) Perfil de una superficie (3D)
- b) Perfil de una línea (2D)

Para el desarrollo de este trabajo solamente se analizara el Perfil de una superficie.

El Perfil de una Superficie es probablemente el control más completo de todas las Tolerancias Geométricas, pueden controlar tamaño, forma, Orientación o Localización de una característica.

Las Tolerancias de Perfil se aplican en superficies y reemplazan a las tolerancias +/- ya que en la actualidad las partes se evalúan matemáticamente en 3D relativo a un Sistema de Coordenadas (CAD, CMM'S, y CNC) y no en 2D.

Un Datum puede o no ser aplicado (11).

**Tabla 7 Tolerancia de Perfil**  
Fuente (11)

SÍMBOLO	TIPO DE TOLERANCIA	FIGURA DE LA ZONA DE TOLERANCIA	2D O 3D	APLICA MODIFICADOR
	PERFIL DE UNA LÍNEA	LIMITE UNIFORME EN 2D 	2D	NO
	PERFIL DE UNA SUPERFICIE	LIMITE UNIFORME EN 3D 	3D	NO

## PERFIL DE UNA SUPERFICIE REFERENTE A DATUMS

Todos los elementos de una Superficie deben permanecer dentro de una banda de Tolerancia especificada. En los siguientes dibujos se explica cómo la Zona de Tolerancia es 3D.

Dibujo:

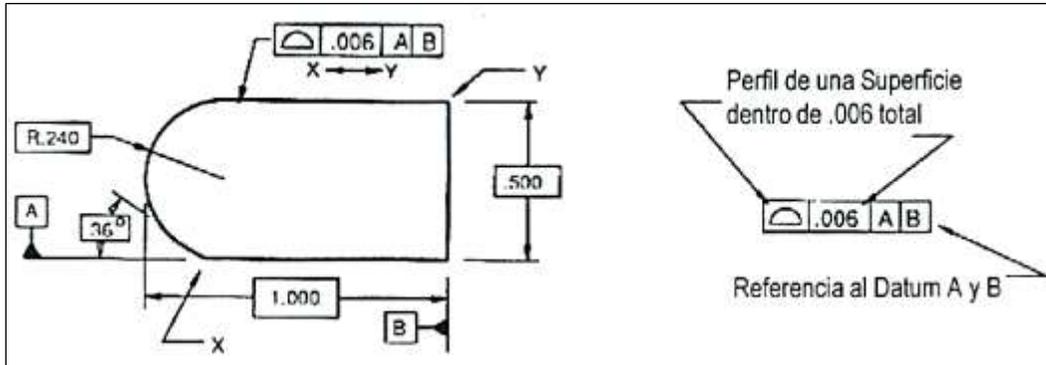


Fig. 27 Ejemplo Perfil referente a Datum

Fuente (11)

Esto significa:

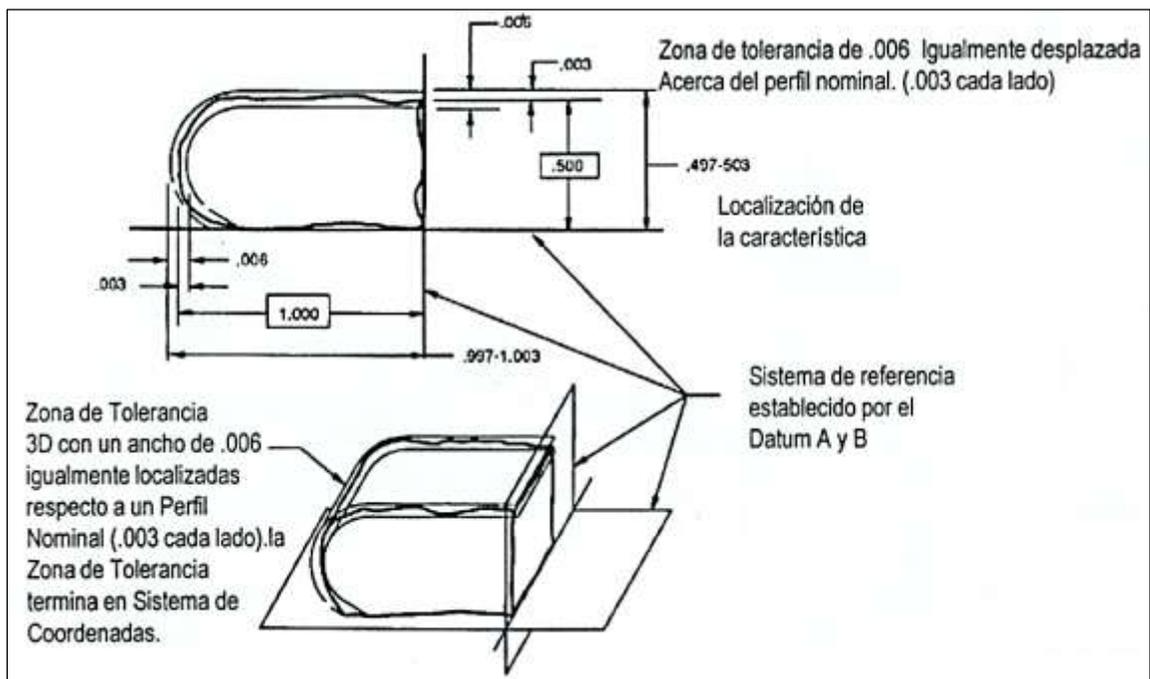


Fig. 28 Interpretación Perfil de Referencia a Datum

Fuente (11)

## PERFIL DE UNA SUPERFICIE UNILATERAL Y BILATERAL

En este caso son requeridas 2 flechas indicadas en el dibujo para definir el ancho y dirección de la Zona de Tolerancia. Se pueden controlar Perfiles externos, internos o en desigual Zona de Tolerancia (11).

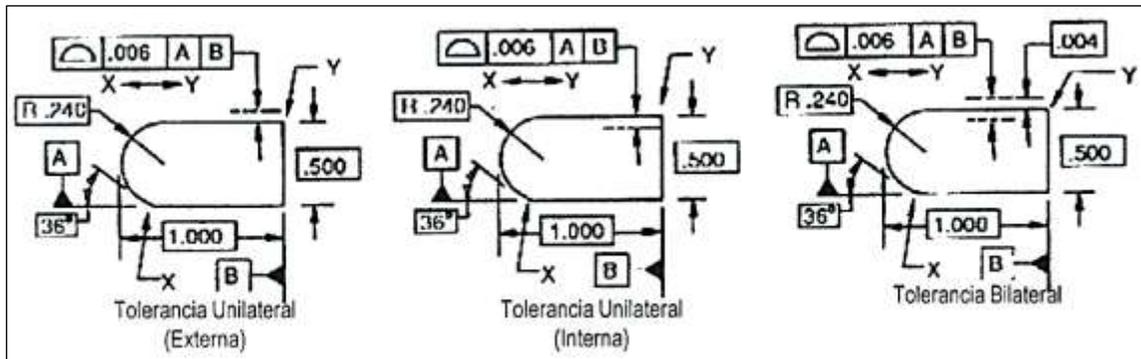


Fig. 29 Perfil de una Superficie Unilateral y Bilateral

Fuente (11)

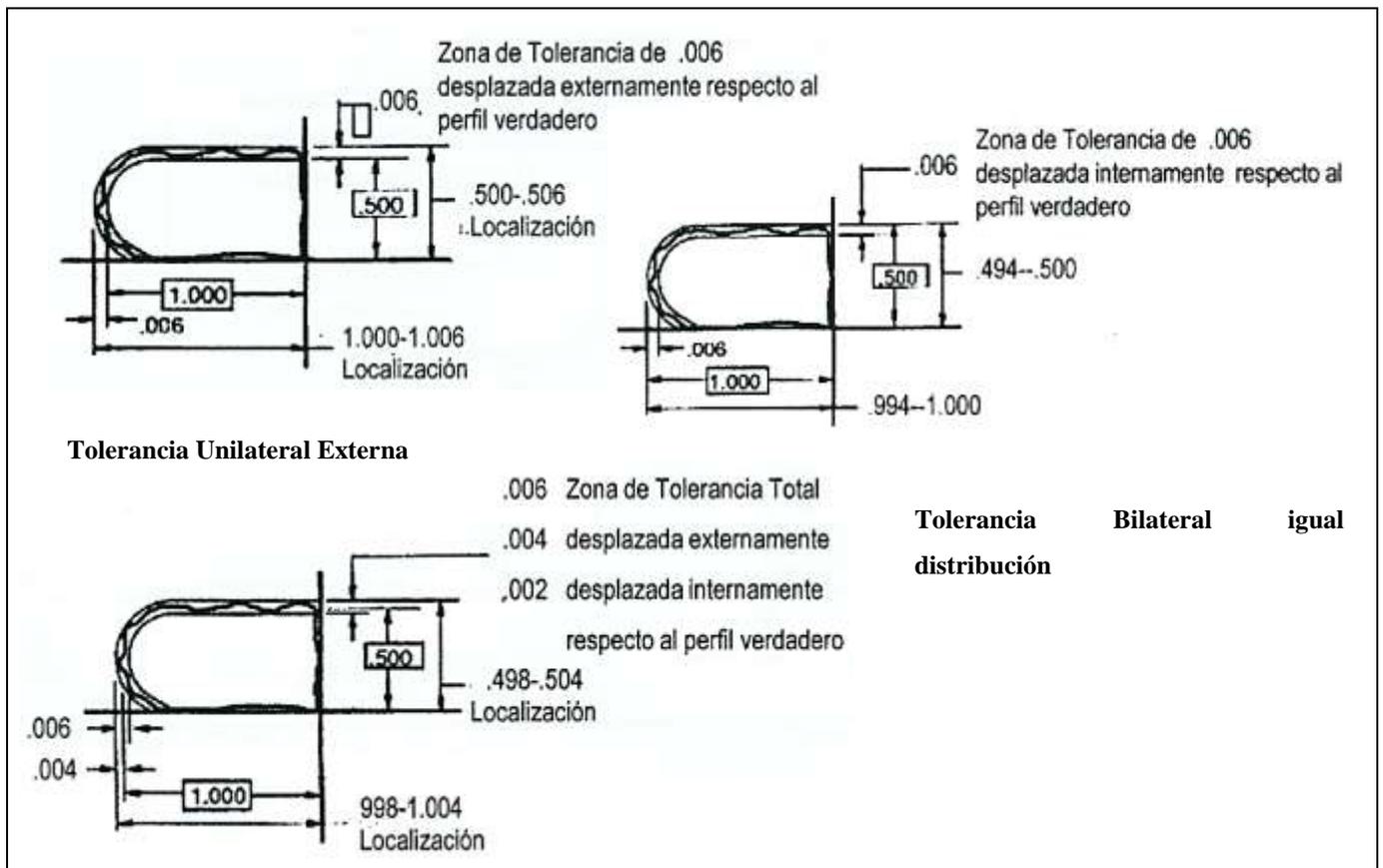


Fig. 30 Interpretación de Perfil de una Superficie Unilateral y Bilateral

Fuente (11)

En la siguiente figura se muestra el Diagrama de Flujo para Controles de Perfil.

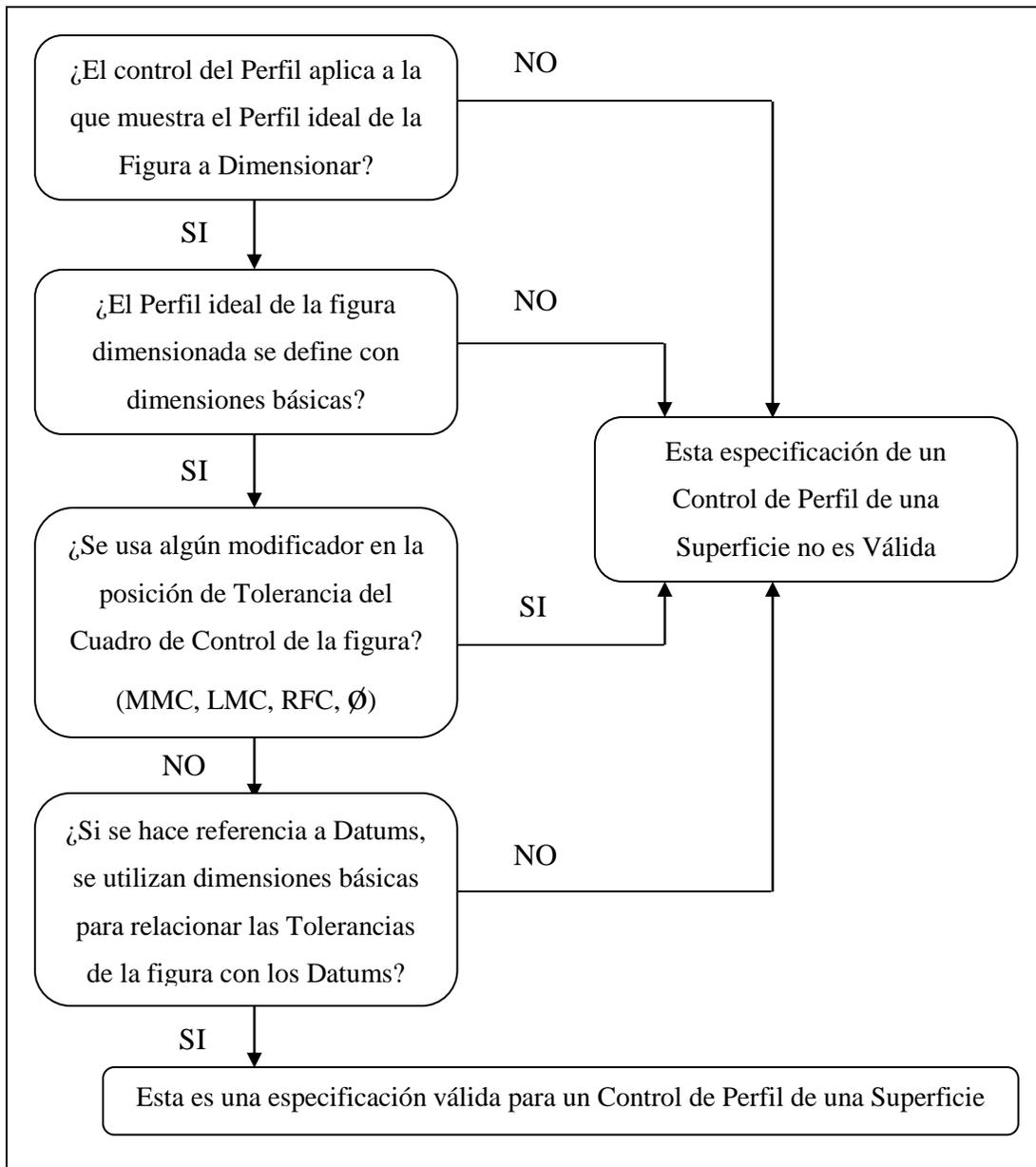


Fig. 31 Diagrama de Flujo de Controles de Perfil

Fuente (11)

### 2.4.11. TOLERANCIAS DE POSICIÓN

La Tolerancia de Posición controla la localización de un eje de un plano medio o una superficie, requiere de un Datum.

La Posición Verdadera requiere de dimensiones básicas referentes a un Datum y estas son teóricamente exactas. Su Zona de Tolerancia se indica en el cuadro de control.

Según la norma ASME Y14.5M-2009 en la Tolerancia de Posición se aplica MMC, LMC o RFS (11).

**Tabla 8 Tolerancias de Posición**

Fuente (11)

SÍMBOLO	TIPO DE TOLERANCIA	FIGURA DE LA ZONA DE TOLERANCIA	2D O 3D	APLICA MODIFICADOR
	POSICIÓN	2 PLANOS PARALELOS 	3D	SI
		CILÍNDRICO 		
		ESFÉRICO 		
		CÓNICO 		
		LIMITE 		

La Tolerancia de Posición es usada para localizar características de una medida. Define una zona dentro de la cual el eje de una característica puede variar respecto a la posición teórica.

Dibujo:

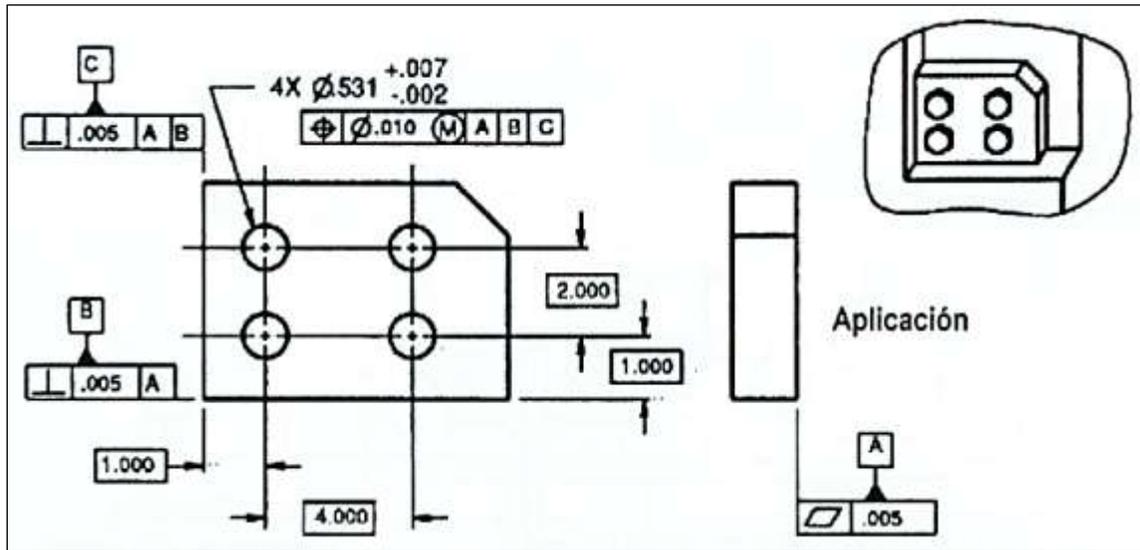


Fig. 32 Ejemplo Tolerancia de Posición

Fuente (11)

Esto significa:

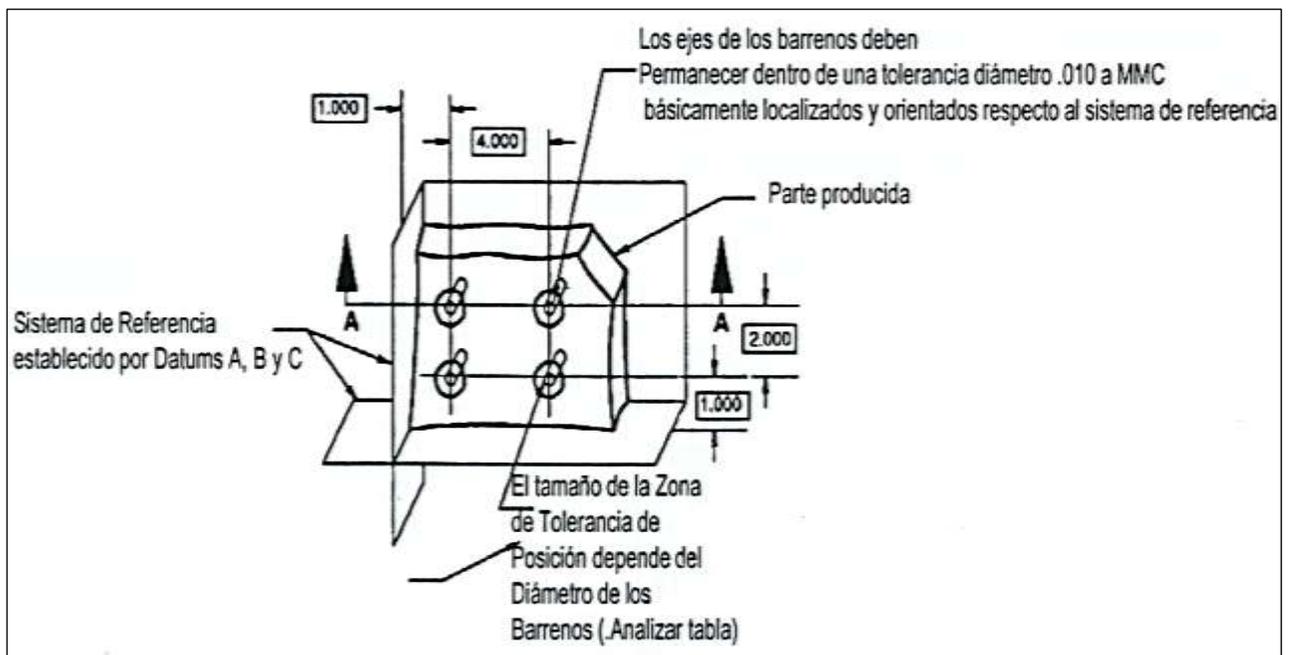


Fig. 33 Interpretación Tolerancia de Posición

Fuente (11)

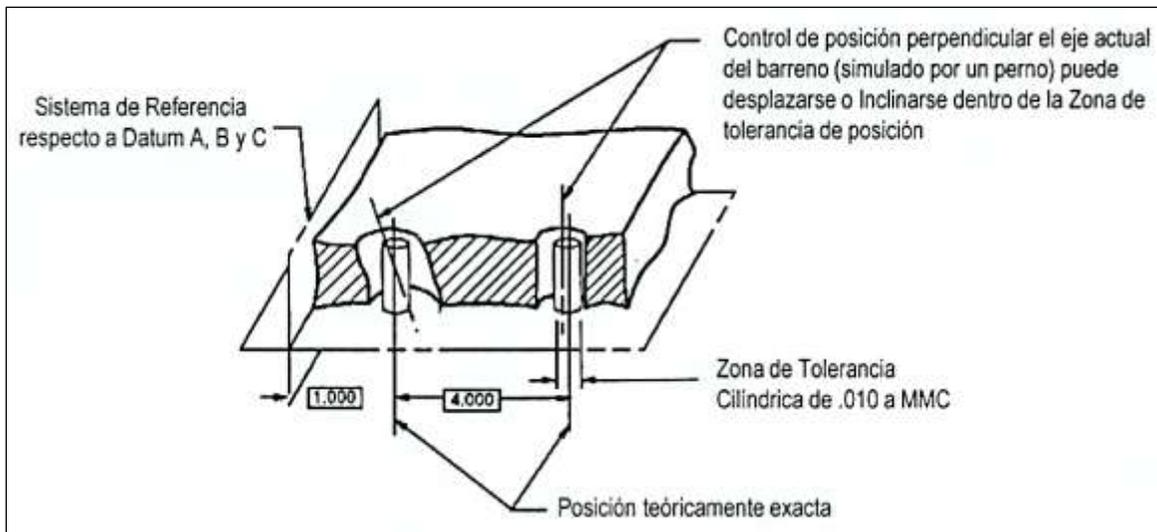
**Tabla 9 Análisis Tolerancia de Posición**

Fuente (11)

TAMAÑO DIÁMETRO	ZONA DE TOLERANCIA
0.529	0.010
0.530	0.011
0.531	0.012
.....	.....
0.537	0.018
0.538	0.019

La tolerancia de posición relacionada a Datums controla la localización así como orientación.

En el siguiente dibujo el eje de los barrenos (simulado por un perno) puede estar desplazado y/o inclinado dentro de la zona de Tolerancia de Posición.



**Fig. 34 Simulación de un Perno**

Fuente (11)

En el siguiente dibujo se muestra un GAGE Funcional para la Tolerancia de Posición.

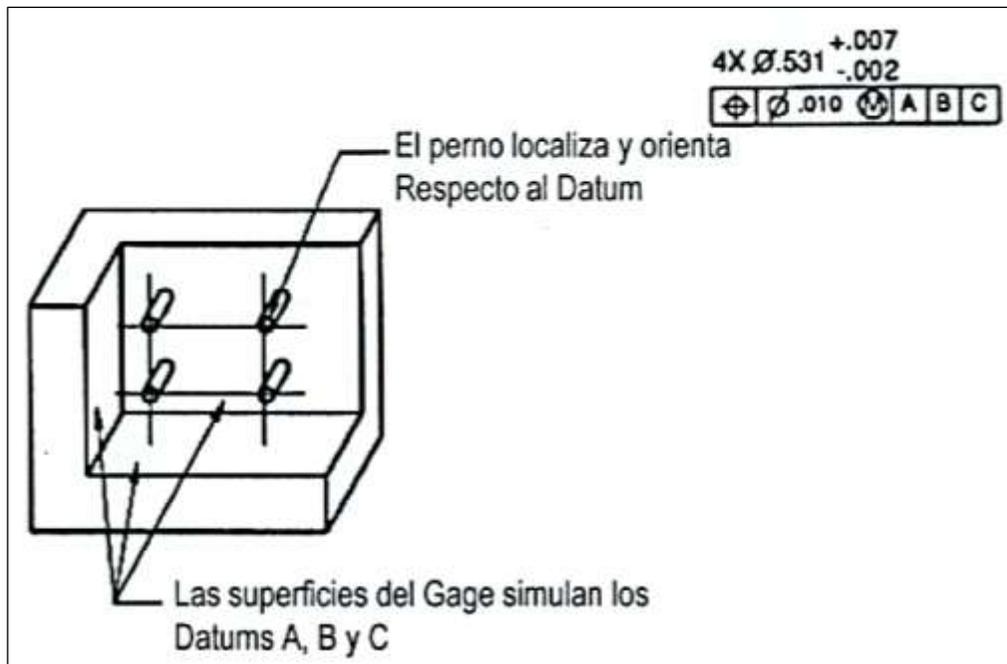


Fig. 35 Ejemplo GAGE Funcional para Tolerancia de Posición

Fuente (11)

La tolerancia de posición es el control de localización más ampliamente usado en los dibujo de ingeniería actuales y se debe a su habilidad para describir los requerimientos de la intercambiabilidad de los componentes. Una de las aplicaciones más usuales de la tolerancia de posición es la localización de barrenos para tornillos porque no hay método tan exacto para describir los requerimientos funcionales para definir posiciones de barrenos. En este capítulo se verán los principios básicos para tolerancias de posición (16).

### **VENTAJAS DE LAS TOLERANCIAS DE POSICIÓN**

Existen muchas ventajas en el uso de tolerancias de posición y aunque algunas de ellas son obvias en la práctica, pueden mencionarse las siguientes:

- Zonas de tolerancia circulares –57% más de tolerancia.
- Permite el uso de tolerancias adicionales
  - a) Tolerancia extra
  - b) Desplazamiento
- Permite el uso de dispositivos fijos
- Evita la acumulación de tolerancias
- Protege la función de la parte

- Reduce los costos de producción

### **PRINCIPIOS DE LAS TOLERANCIAS DE POSICIÓN**

Tenemos dos definiciones relativas al tema de tolerancias de posición:

- Posición ideal: Es un término usado para describir la posición exacta (o perfecta) de un punto, una línea o un plano (normalmente el centro) de una figura dimensional en relación con un Datum o marco de referencia de Datum y/u otras figuras dimensionales. En los dibujos se utilizan las dimensiones básicas para establecer la posición ideal de la figura dimensional.
- Tolerancia de posición: Es la variación total permisible en la localización de una figura dimensional respecto a su posición ideal.

### **CONDICIONES PARA LA TOLERANCIA DE POSICIÓN**

Mucho de la confusión sobre las tolerancias de posición, se debe más que nada a los numerosos ejemplos de dibujos incorrectos. En esta sección se discuten las *condiciones básicas* que debe cumplir una aplicación de la tolerancia de posición. Los usuarios de un dibujo *primero* deben verificar si el control de la tolerancia de posición está bien especificado antes de intentar interpretar su aplicación. Si la aplicación de la tolerancia no cumple esos requisitos básicos, el dibujo debe cambiarse o corregirse antes de proceder.

Hay cuatro Condiciones básicas en el sistema de dimensionamiento que una tolerancia de posición debe cumplir:

1. La tolerancia de posición debe aplicarse a una figura dimensional.
2. Se requieren referencias a un Datum. Además los Datums deberán permitir mediciones repetibles de la figura dimensional considerada.
3. Se usan las dimensiones básicas para establecer la localización exacta de las figuras dimensionales desde un Datum definido y entre figuras dimensionales relacionadas entre sí.
4. Deben especificarse modificadores LMC, MMC o RFS en el símbolo de control de la figura.

Si alguna de esas cuatro condiciones no se cumple, entonces la especificación para tolerancia de posición no es interpretable.

## APLICACIONES A MMC

Una tolerancia de posición aplicada a una figura dimensional con una función primaria para ensamble generalmente se usa a MMC. El modificador MMC se muestra en la sección de la tolerancia del cuadro de control. Cuando la figura dimensional es producida a MMC, y ubicada en su posición extrema, la pieza está en el peor de su caso para ensamblar. Esto se denomina condición virtual. Conforme la figura dimensional se aleje de MMC, aparece una tolerancia de localización adicional conocida como tolerancia extra (la tolerancia total combinada o la condición virtual de la figura dimensional permanece al mismo valor).

En otras palabras, cuando una pieza produce a MMC está en la condición más demandante para el ensamble (y no se dispone de tolerancia extra). Conforme la figura dimensional se aleje de su MMC, su localización puede variar también en la misma cantidad (agregada a su tolerancia de posición ya señalada) y aún puede ensamblarse. Esta tolerancia de localización adicional es la tolerancia extra (14).

Nota: Cuando se aplica una tolerancia de posición a MMC, se dispone de una Tolerancia Extra.

En el siguiente ejemplo se ilustra cómo verificar una Posición Verdadera en MMC.

Dibujo:

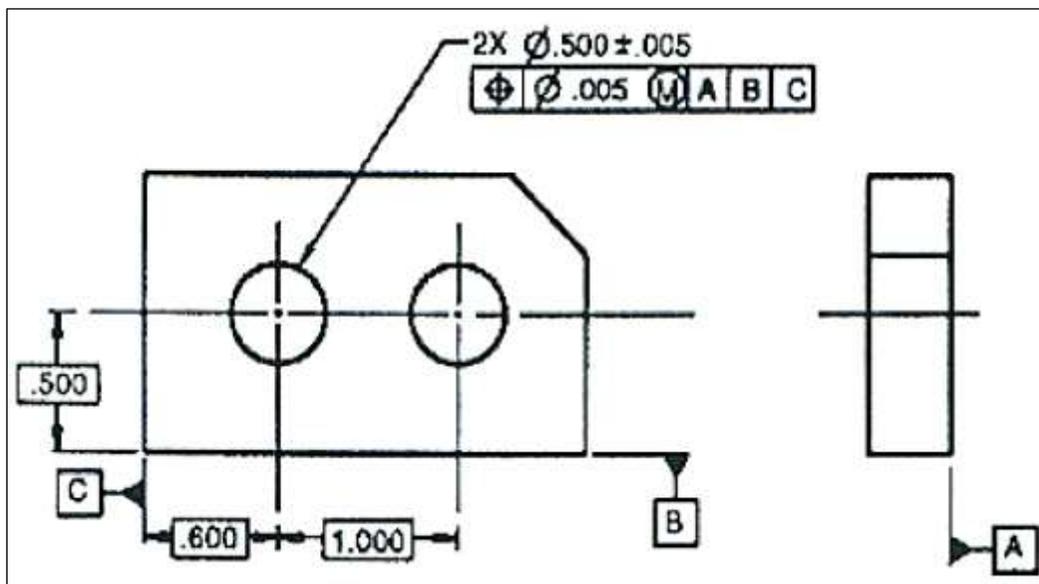


Fig. 36 Tolerancia Posición a MMC

Fuente (11)

Parte producida:

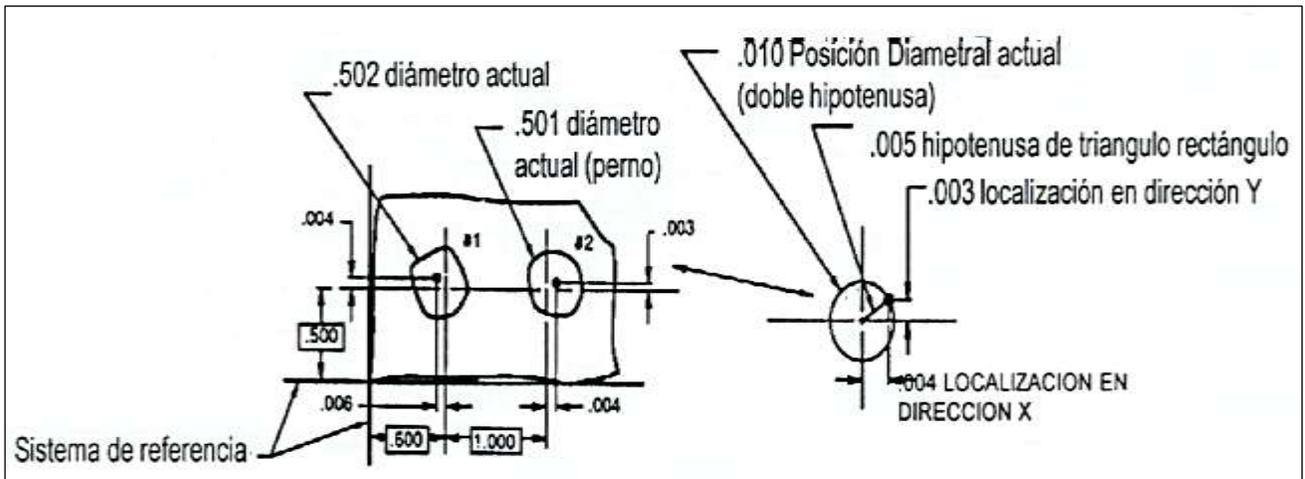


Fig. 37 Ejemplo Tolerancia de Posición

Fuente (11)

En la siguiente tabla se da la interpretación matemática del ejemplo anterior, donde (11):

Tolerancia Permitida = Barreno en tamaño actual – Barreno a MMC + Tolerancia de Posición del marco de control.

X DIM = Desviación en X respecto a su dimensión básica.

Y DIM = Desviación en Y respecto a su dimensión básica

Tolerancia Actual = Formula para Posición:  $Z = 2\sqrt{x^2 + y^2}$

Tabla 10 Interpretación Matemática de la Tolerancia de Posición a MMC

Fuente (11)

BARRENO No.	BARRENO A MMC	BARRENO TAMAÑO ACTUAL	TOL. PERMITIDA	X DIM	Y DIM	TOL. ACTUAL	OK	NO OK
1	0.495	0.502	0.012	-0.006	+0.004	0.0144		X
2	0.495	0.501	0.011	+0.004	+0.003	0.010	X	

### VERIFICACIÓN DE TOLERANCIAS DE POSICIÓN CON UN DISPOSITIVO FUNCIONAL

Un *dispositivo funcional* es un dispositivo que verifica los requisitos funcionales de las figuras de una pieza. Esto es que si los barrenos de una pieza se suponen que son para

acoplarse sobre los pernos de otra pieza: la función de los barrenos es acoplarse sobre los pernos. Para revisar la localización de los barrenos, se simulan los pernos de la pieza de ensamble con un dispositivo funcional. Las ventajas de este método son:

- Es barato producirlo
- El dispositivo puede representar las peores Condiciones de la pieza de ensamble.
- Las piezas pueden revisarse rápidamente.
- No se necesitan habilidades especiales para leer el dispositivo o interpretar los resultados.

Cuando los dispositivos no tienen piezas móviles se les conoce como dispositivos funcionales fijos y las partes deben ensamblar en el dispositivo para ser aceptadas.

Los dispositivos funcionales son métodos muy comunes para verificar una tolerancia de posición porque se puede establecer un plano o eje de Datum desde las figuras de referencia y verificar que la pieza considerada no sobrepase la frontera teórica establecida por la tolerancia de posición. Aunque los dispositivos funcionales ofrecen muchas ventajas en la inspección de piezas controladas por tolerancias de posición no son absolutos y la tolerancia de posición puede verificarse también con técnicas abiertas de inspección.



**Fig. 38 Dispositivo Funcional para Localizar barrenos**

**Fuente Propia**

Cuando en la fase de diseño se requiere analizar los límites extremos de una pieza se recomienda el uso de un dispositivo de “cartón”, que es una simulación de un dispositivo funcional, pero hecho a base de cartón o papel grueso, con el cuál pueden verificarse las

mismas figuras de la pieza como con un dispositivo real a pesar de que no se parece a un dispositivo real.

Cuando se usa una figura dimensional como figura de Datum en un cuadro de control para tolerancia de posición debe especificarse si se aplica a LMC, MMC o RFS.

Si un Datum está a MMC el dispositivo tiene un tamaño fijo y es posible una tolerancia en el desplazamiento de Datum. Esto es importante para el fabricante de la pieza debido a que el desplazamiento de Datum permite una tolerancia de posición adicional. La cantidad del desplazamiento de Datum es diferente para cada pieza producida y depende de la cantidad que la figura dimensional varíe desde MMC. El desplazamiento de Datum es similar al concepto de la tolerancia extra (14).



# CAPÍTULO III. METODOLOGÍA



### **3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

---

El problema consiste en que la empresa Flex-N-Gate no cuenta con un calibrador (GAGE) funcional pasa/no pasa para la pieza Housing-Support Plate 3010130000, Fig. 39, que rápidamente revise su forma y ajuste de una manera similar a su uso proyectado, con la finalidad de ahorrar en horas-hombre el tiempo de inspección y la redefinición de frecuencia de verificación basado en las causas potenciales. Actualmente la forma de validarla es mediante una máquina de medición por coordenadas Fig. 40, en la cual se mide cada característica de la pieza específicamente la posición de los barrenos, que son comparados con las posiciones reales que el cliente les proporciona mediante un CAD, este proceso tarda más de diez minutos e incurre en altos costos de mano de obra y tiempo, así como retrasos en el arranque de producción y control de calidad.

Actualmente este número de parte es considerado de servicio, es decir se produce una vez al año debido a la crisis que sufrió la industria automotriz hace dos años, ocasionando que las fluctuaciones del mercado sean inciertas desde ese momento, sin embargo la empresa desea asegurar el control de calidad mediante un calibrador para este número de parte y de esta manera conservar la producción de todos los productos para el cliente (FORD).



**Fig. 39 Housing-Support Plate 3010130000**

**Fuente Propia**

Para lo cual en primera instancia se desarrollará un diseño en 3D del calibrador utilizando el software CATIA (este es un requisito de la empresa debido a que todos sus diseños están elaborados en dicho software), que será validado por parte de la empresa mediante un prototipo para su posterior fabricación por alguno de los proveedores especializados en Dispositivos de calidad.



**Fig. 40** Máquina de Medición por Coordenadas  
Fuente Propia

## **3.2. ELEMENTOS DEL PROBLEMA**

---

Los elementos para el desarrollo de este trabajo son:

- Determinar lo que se necesita controlar de la pieza, si se requiere una inspección al 100% o solamente características potenciales que solicita el cliente.
- Las Tolerancias Geométricas que se deben tomar en cuenta en la interpretación del dibujo del número de parte para la elaboración del prototipo.
- El software donde se desarrollarán los dibujos constructivos, en este caso como requerimiento de la empresa se usará: CATIA en la versión V5R19.
- Cómo y dónde se fabricará el prototipo para su posterior validación, así como la maquinaria y herramientas necesarias.
- El costo, disponibilidad y tipo de material necesario para elaborar el prototipo.
- Ensamble del prototipo.
- Forma en que se validará el dispositivo por parte de la empresa.

## **3.3. RECOPIACIÓN DE DATOS**

---

En el esquema que va formándose, conviene recoger todos los datos necesarios para estudiar estos elementos uno por uno, mismos que se encuentran en el Marco Teórico

capítulo II dentro de este trabajo. Así como el plano de la pieza que se visualiza en el ANEXO 5, ANEXO 6 y ANEXO 7.

Como información adicional la pieza Housing-Support Plate 3010130000 es parte de un ensamble que conforma un Winche para una de las camionetas de FORD.

Un Winche es el mecanismo que sujeta la llanta de refacción y está ubicado en la parte inferior de las camionetas; funciona introduciéndole un tubo al cilindro del Winche y se le da vueltas hasta que la llanta toque el suelo.

En la siguiente figura se muestra el Winche que contiene al número de parte en estudio.



**Fig. 41 Winche**

**Fuente Proporcionada por la empresa**

### **3.4. ANÁLISIS DE DATOS**

---

Para poder determinar cuáles serán las dimensiones y la forma del Dispositivo, se analizará la información obtenida en el paso anterior, así como se definirán los elementos que se deberán controlar para la inspección de la pieza y poder obtener un diseño preliminar o una idea más argumentada de lo que será el prototipo a construir.

De esta forma el análisis se realiza junto con la empresa definiéndose lo que se debe controlar de la pieza para poder determinar los parámetros en los cuales se debe basar el Dispositivo para este número de parte. En una junta con el personal del departamento de

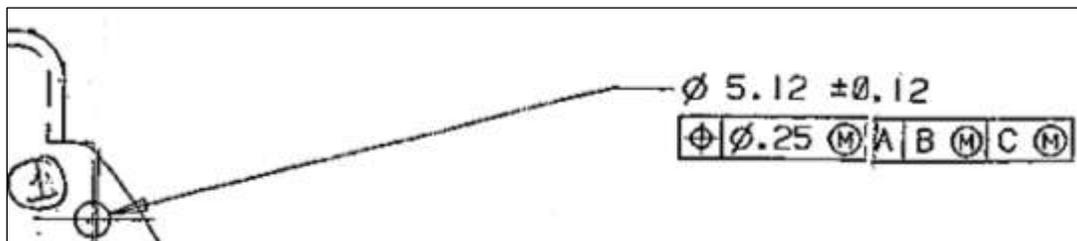
Calidad de la empresa, donde participaron el Gerente de Calidad, Ingenieros del Producto y Técnicos Metrólogos, se llegó a la conclusión de controlar únicamente los barrenos de la cara frontal de la pieza debido a varias razones:

- El cliente solo requiere que se controlen los Datums primario, secundario y terciario así como los demás barrenos de la cara frontal de la pieza; esta es la razón más importante que se consideró para controlar solamente lo antes mencionado.
- Verificar la pieza en un 100% es demasiado costoso para el diseño y construcción del Dispositivo, aunado a que es innecesario debido a lo que requiere el cliente.
- La empresa solamente verifica la posición de los barrenos en la Máquina de Coordenadas cuando inspecciona la pieza conforme a lo que solicita el cliente.
- Ayuda a comprender algunas Tolerancias Geométricas de las más importantes así como en el desarrollo de la formación profesional para el alumno.

Teniendo en cuenta lo anterior, se analizarán las Dimensiones y Tolerancias Geométricas del número de parte. Véase ANEXO 5. Los números del 1-10 encerrados en un círculo junto a los barrenos como se muestra en el dibujo del ANEXO 5 son los que a continuación se analizarán de acuerdo a la norma ASME Y14.5 M-2009.

### **ANÁLISIS DE TOLERANCIAS DE POSICIÓN PARA LOCALIZACIÓN DE BARRENOS**

Barreno número 1



**Fig. 42 Análisis barreno 1**

Fuente Proporcionada por la empresa

Interpretación:

Como es un barreno y considerando la zona de tolerancia y la condición de material, el barreno a MMC es:  $5.12 - 0.12 = 5$ , referente a los Datums A, B a MMC, y C a MMC; ahora para saber el tamaño que tendrá el barreno en el dispositivo tomando en cuenta la

tolerancia geométrica, se necesita calcular la condición virtual, en este caso se calcula de la siguiente manera:

Condición Virtual:  $5 - 0.25 = 4.75$  a MMC

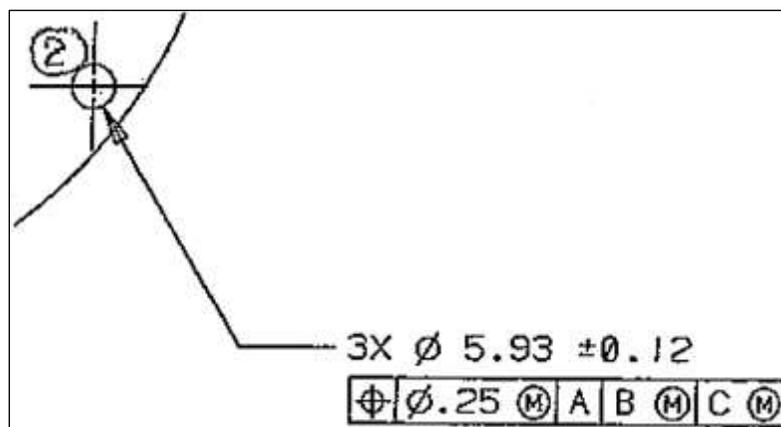
En la siguiente tabla se muestra la correspondencia entre el tamaño del diámetro y la zona de tolerancia permitida.

**Tabla 11 Análisis Barreno 1**

Fuente Propia

TAMAÑO DEL DIÁMETRO	ZONA DE TOLERANCIA PERMITIDA
5	0.25
5.03	0.28
5.06	0.31
5.09	0.34
5.12	0.37
5.15	0.4
5.18	0.43
5.21	0.46
5.24	0.49

Barrenos número 2, 3 y 4



**Fig. 43 Análisis Barreno 2, 3 y 4**

Fuente Proporcionada por la empresa

Interpretación:

La interpretación es similar a la anterior; el barreno a MMC es:  $5.93 - 0.12 = 5.81$ , referente a los Datums A, B a MMC y C a MMC.

Condición virtual:  $5.81 - 0.25 = 5.56$  a MMC. En la siguiente tabla se muestra la correspondencia entre el tamaño del diámetro y la zona de tolerancia permitida.

Tabla 12 Análisis Barreno 2, 3 y 4

Fuente Propia

TAMAÑO DEL DIÁMETRO	ZONA DE TOLERANCIA PERMITIDA
5.81	0.25
5.84	0.28
5.87	0.31
5.9	0.34
5.93	0.37
5.96	0.4
5.99	0.43
6.02	0.46
6.05	0.49

Barrenos 5, 6 y 7

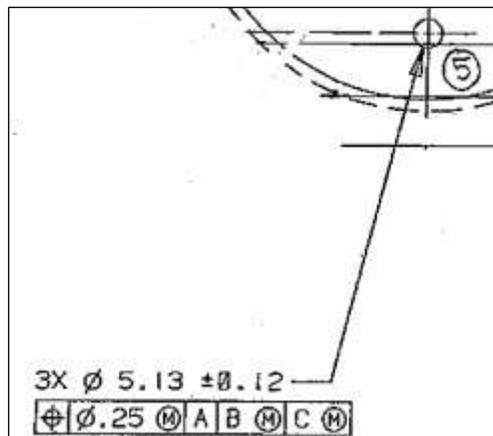


Fig. 44 Análisis Barrenos 5, 6 y 7

Fuente Proporcionada por la empresa

Interpretación:

Barreno a MMC:  $5.13 - 0.12 = 5.01$ , referente a los Datums A, B a MMC y C a MMC.  
Condición Virtual:  $5.01 - 0.25 = 4.76$  a MMC. En la siguiente tabla se muestra la correspondencia entre el tamaño del diámetro y la zona de tolerancia permitida.

Tabla 13 Análisis Barrenos 5, 6 y 7

Fuente Propia

TAMAÑO DEL DIÁMETRO	ZONA DE TOLERANCIA PERMITIDA
5.01	0.25
5.04	0.28
5.07	0.31
5.1	0.34
5.13	0.37
5.16	0.4
5.19	0.43
5.22	0.46
5.25	0.49

Barreno 8

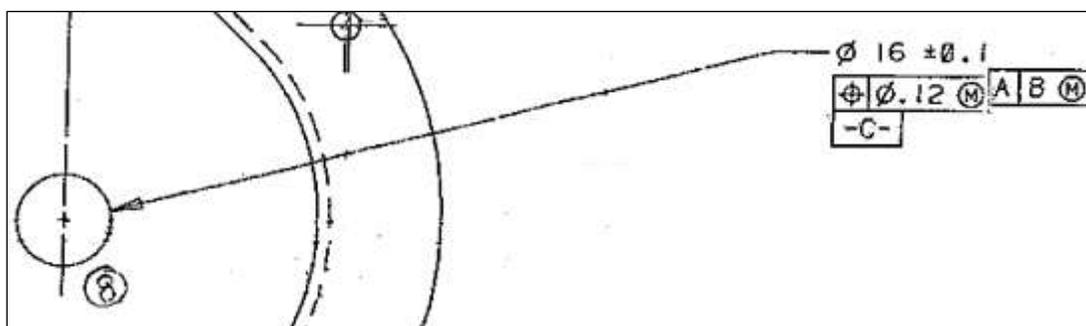


Fig. 45 Análisis Barreno 8

Fuente Proporcionada por la empresa

Como se observa en la figura anterior, este barreno es el Datum C o Plano Terciario, lo que significa que solamente puede tener un punto mínimo de contacto, es decir, la pieza debe tener un grado de libertad y debe quedar muy bien sujeta al Dispositivo.

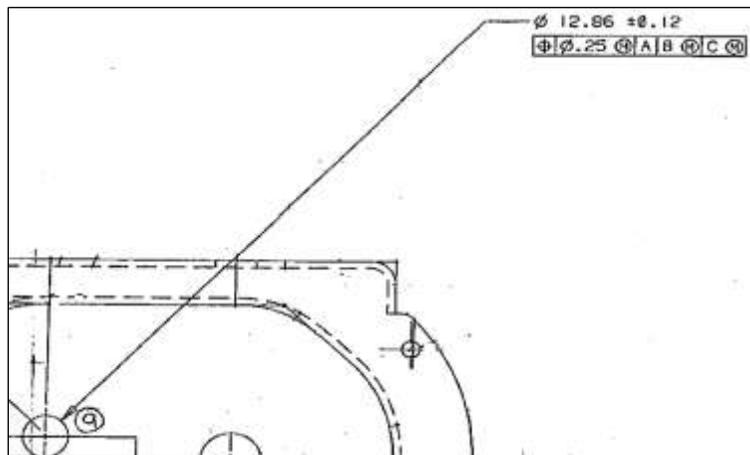
Interpretación: Barreno a MMC:  $16 - 0.1 = 15.9$ , referente a los Datums A y B a MMC.  
 Condición Virtual:  $15.9 - 0.12 = 15.78$  a MMC. En la siguiente tabla se muestra la correspondencia entre el tamaño del diámetro y la zona de tolerancia permitida.

**Tabla 14 Análisis Barreno 8**

Fuente Propia

TAMAÑO DEL DIÁMETRO	ZONA DE TOLERANCIA PERMITIDA
15.9	0.12
15.925	0.145
15.95	0.17
15.975	0.195
16	0.22
16.025	0.245
16.05	0.27
16.075	0.295
16.1	0.32

Barreno 9



**Fig. 46 Análisis Barreno 9**

Fuente Proporcionada por la empresa

Interpretación:

Barreno a MMC:  $12.86 - 0.12 = 12.74$ , referente a los Datums A, B a MMC y C a MMC.  
Condición Virtual:  $12.74 - 0.25 = 12.49$  a MMC. En la siguiente tabla se muestra la correspondencia entre el tamaño del diámetro y la zona de tolerancia permitida.

Tabla 15 Análisis Barreno 9

Fuente Propia

TAMAÑO DEL DIÁMETRO	ZONA DE TOLERANCIA PERMITIDA
12.74	0.25
12.77	0.28
12.8	0.31
12.83	0.34
12.86	0.37
12.89	0.4
12.92	0.43
12.95	0.46
12.98	0.49

Barreno 10

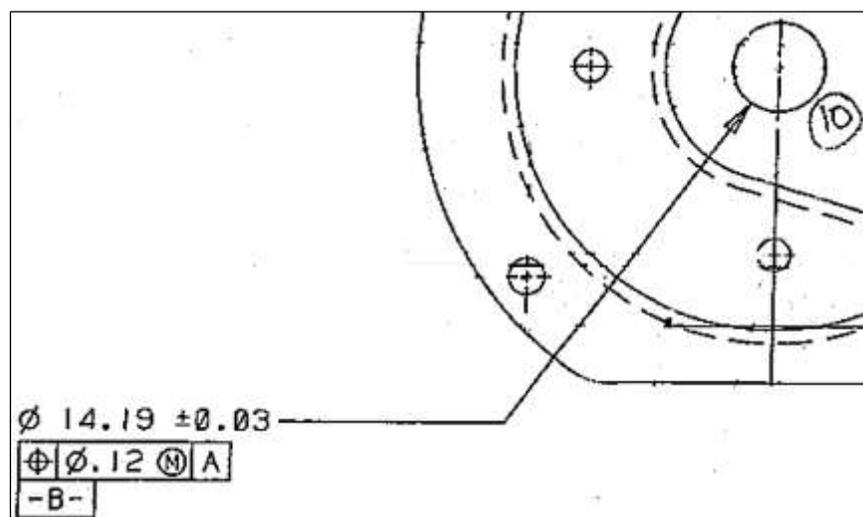


Fig. 47 Análisis Barreno 10

Fuente Proporcionada por la empresa

Como se observa en la figura anterior, este barreno es el Datum B o Plano Secundario, lo que significa que solamente puede tener dos puntos mínimos de contacto, es decir, la pieza debe tener dos grados de libertad y debe quedar muy bien sujeta al Dispositivo. A partir de este Datum B se distribuyen todas las medidas de la pieza.

Interpretación: Barreno a MMC:  $14.19 - 0.03 = 14.16$ , referente al Datum A. Condición Virtual:  $14.16 - 0.12 = 14.04$  a MMC. En la siguiente tabla se muestra la correspondencia entre el tamaño del diámetro y la zona de tolerancia permitida.

**Tabla 16 Análisis Barreno 10**

**Fuente Propia**

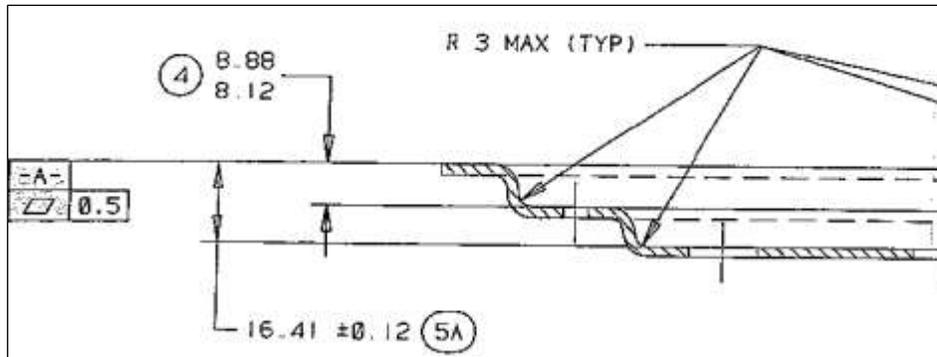
<b>TAMAÑO DEL DIÁMETRO</b>	<b>ZONA DE TOLERANCIA PERMITIDA</b>
<b>14.16</b>	0.12
<b>14.17</b>	0.13
<b>14.18</b>	0.14
<b>14.19</b>	0.15
<b>14.20</b>	0.16
<b>14.21</b>	0.17
<b>14.22</b>	0.18

### **INTERPRETACIÓN DEL DATUM A**

El Datum A o Plano Primario es el más importante en el diseño del Dispositivo debido a que indica qué parte de la misma tendrá contacto con una superficie rígida que definirá la base para proyectar la forma y medidas del Dispositivo. Es decir, el Datum A o Datum primario define el Marco de Referencia.

El Datum A se puede interpretar de la siguiente manera: significa que solamente puede tener tres puntos mínimos de contacto, es decir, la pieza solamente debe tener tres grados de libertad y debe quedar muy bien sujeta al Dispositivo.

Los Datums A, B y C indican cómo la pieza debe ser fijada para reducir sus 6 grados de libertad.



**Fig. 48 Interpretación Datum A**  
Fuente Proporcionada por la empresa

El Datum A en la figura anterior está indicado en la vista inferior sustraída del corte A-A del dibujo de la pieza como se muestra en el ANEXO 6. Y se interpreta de la siguiente manera: La superficie plana deberá estar contenida entre dos planos paralelos con una distancia de 0.5 entre sí.

En el ANEXO 7 se muestran las demás vistas que componen la pieza.

### **ANÁLISIS DE LAS TOLERANCIAS DE PERFIL**

Éstas tolerancias no se tomaron en cuenta en el diseño del Dispositivo debido a que la empresa no verifica perfiles de una superficie en la pieza para su posterior validación, pero para fines didácticos se da una breve explicación sobre este tipo de tolerancias geométricas.

En los ANEXOS 5, 6 Y 7 se muestran las tolerancias geométricas de perfil de una superficie con dos valores numéricos: 2 y 1, que se interpretan de la siguiente manera: la superficie controlada deberá estar contenida en una zona de tolerancia de 2 ó 1 mm igualmente desplazada respecto del perfil nominal (para 2 el nominal es 1, y para 1 el nominal es 0.5).

## **3.5. CREATIVIDAD**

Después de haber calculado las dimensiones de los elementos de la pieza que se necesitan controlar podemos empezar a diseñar la forma que tendrá el Dispositivo. Este proceso se llevó acabo con la asesoría de la empresa Moldes y Troqueles S.A de C.V. debido a que es uno de los proveedores de Dispositivos más confiables con los que cuenta Flex-N-Gate.

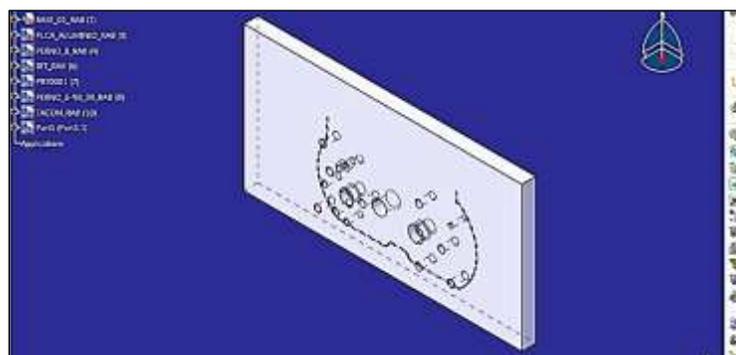
En el primer análisis que se realizó se pensó en un Dispositivo similar al de la Fig. 49, por la similitud que tiene con el número de parte en estudio, pero debido a la complejidad de la manufactura y precisión necesaria se descartó esta opción. Aunado a que este Dispositivo verifica la contraparte de la pieza en cuestión en un 100%.



**Fig. 49 Primera opción del Dispositivo**

**Fuente Propia**

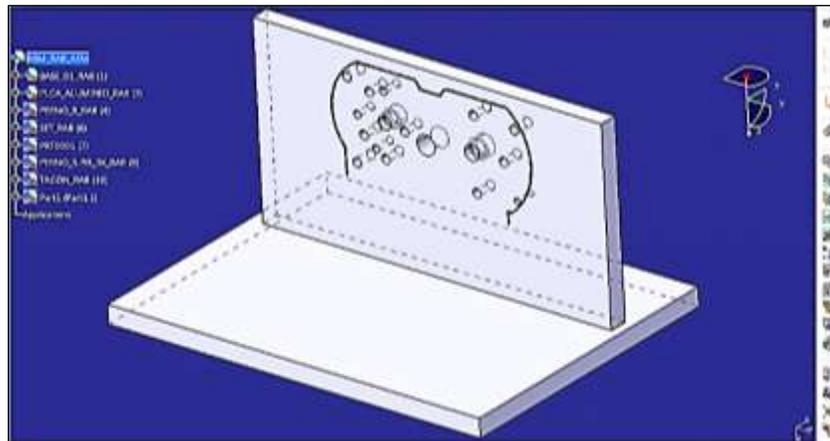
Como la necesidad de Flex-N-Gate es controlar solamente las posiciones de los barrenos de la pieza, se obtuvo una segunda opción del Dispositivo para dicho fin tomando en cuenta las GD&T que marca el dibujo del número de parte, comenzando con la ubicación del Datum A el cual de acuerdo a su interpretación en el análisis de datos define la posición que tendrá la pieza cuando sea inspeccionada. Este diseño por su facilidad para manufacturar, comprensión, cumplimiento con los requisitos de la empresa y requerimiento de material fue la opción más ideal por lo que se prosiguió a su diseño en 3D con la ayuda del software CATIA, como se muestra en la siguiente figura:



**Fig. 50 Forma del Dispositivo para localización de Barrenos**

**Fuente Propia**

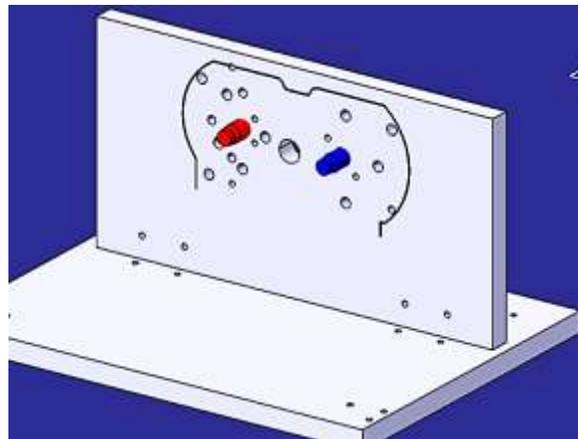
Pero se necesitaba de una base que sostuviera esta parte principal del Dispositivo de acuerdo a lo que indica el Datum A (debido a que contiene los barrenos que controlarán la pieza), pues es necesario que la pieza quede totalmente sujeta al mismo para que no tenga ningún tipo de juego al momento de hacer la inspección, como se muestra en la siguiente figura:



**Fig. 51** Parte principal del Dispositivo y su Base

Fuente Propia

Teniendo estas partes, el siguiente paso fue diseñar la forma de los Datums B y C, Fig. 52, puesto que el Datum A es la pieza que contiene los barrenos como se mostró en la figura anterior.

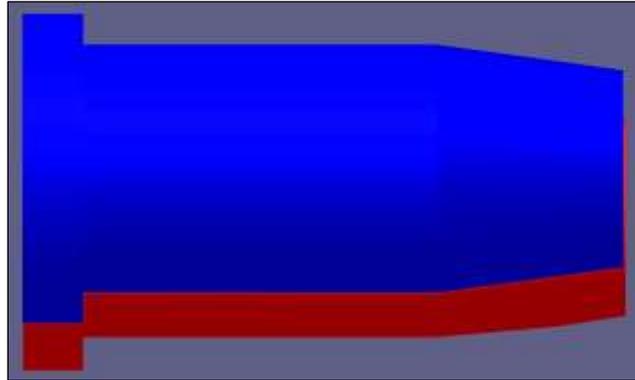


**Fig. 52** Datums B y C

Fuente Propia

El Datum B es la pieza marcada de color rojo y el Datum C la pieza de color azul. Se diseñaron cónicos, véase Fig. 53, debido a que como se mencionó anteriormente, deben

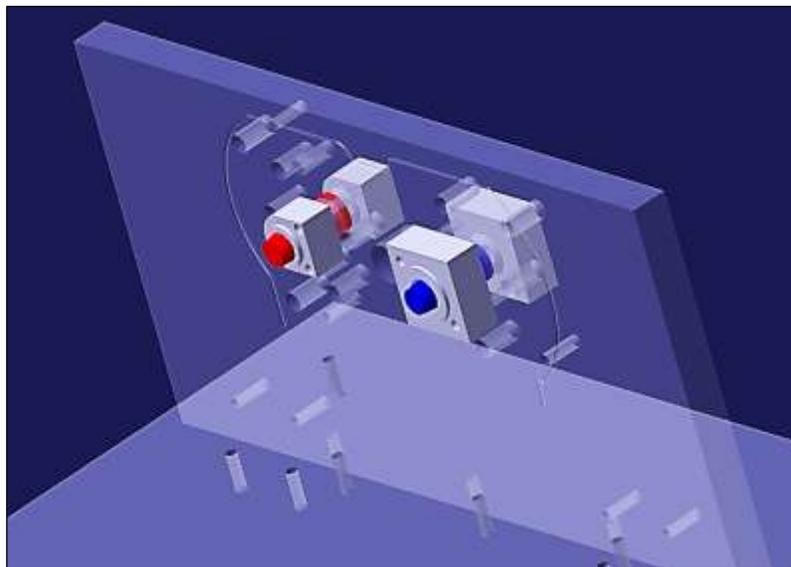
eliminar los 6 grados de libertad que tiene la parte; de tal forma que cuando la pieza sea sujeta al Dispositivo no tenga ningún tipo de movimiento hacia ninguna dirección, ya que estos Datums se indican en los barrenos del número de parte.



**Fig. 53 Forma de los Datums B y C**

**Fuente Propia**

Para poder sujetar los Datums B y C al Dispositivo se diseñaron piezas que cumplan esa función, evitando que exista algún tipo de juego cuando se coloque la pieza, pues de lo contrario los Datums se saldrían del Gage, véase la siguiente figura:

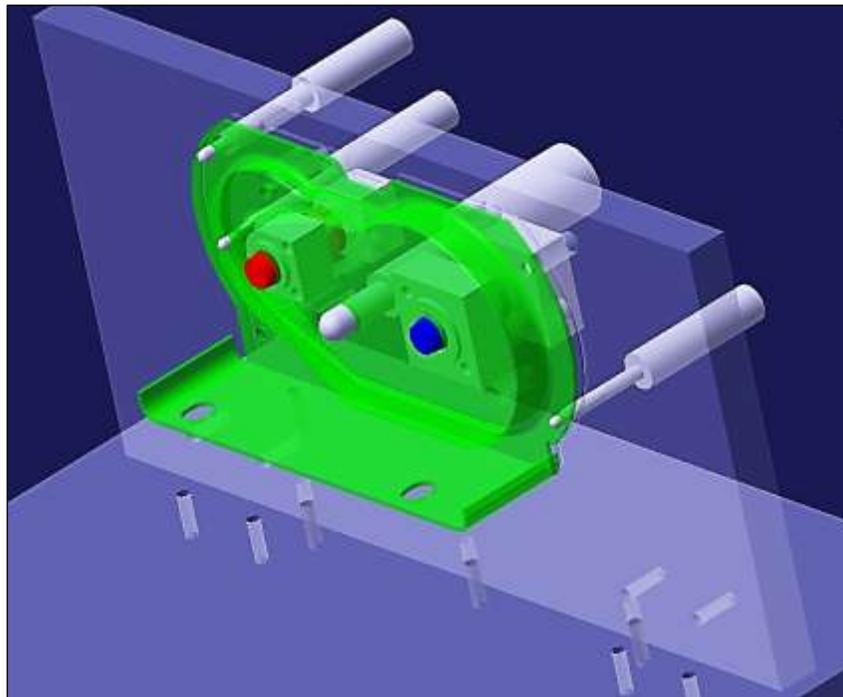


**Fig. 54 Piezas para sujetar Datums B y C**

**Fuente Propia**

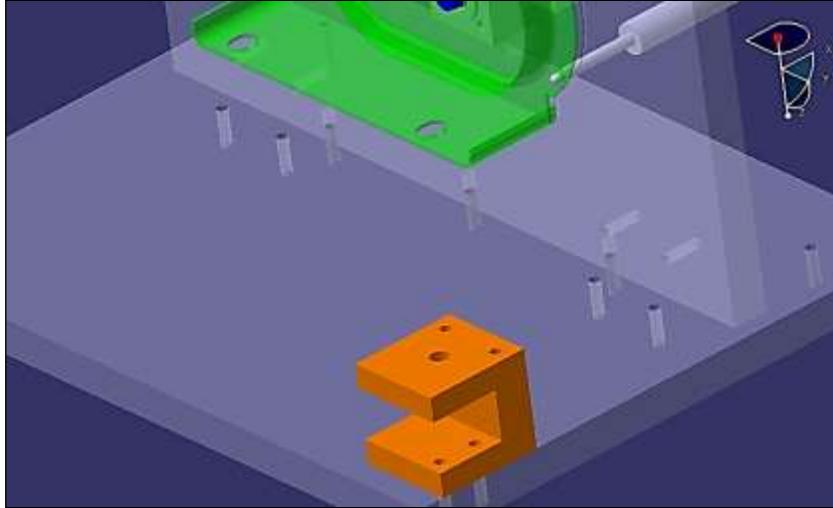
La última parte que comprende el diseño del Dispositivo son los localizadores que precisamente indicarán si los barrenos de la pieza pasan o no pasan. Los cuales fueron

diseñados tomando en cuenta la condición virtual correspondiente a las dimensiones de cada barreno. Si todos los localizadores entran en cada uno de los barrenos de la pieza, se dice que la pieza es buena, de lo contrario se toman acciones correctivas de acuerdo al procedimiento de calidad establecido por la empresa para corregir la falla. Este es el principio de funcionamiento de los Dispositivos de Calidad (GAGES, Calibradores Funcionales pasa/no pasa) para localización de barrenos, como se muestra en la siguiente figura:



**Fig. 55 Localizadores**  
**Fuente Propia**

Finalmente, solo para agregar valor a este trabajo se añadirá un SET que tendrá la función de medir las alturas de la pieza por medio de un indicador, que se ajustará al tamaño del SET, donde la punta del indicador tocará la parte más baja del SET, siendo esta la referencia para realizar dichas mediciones.

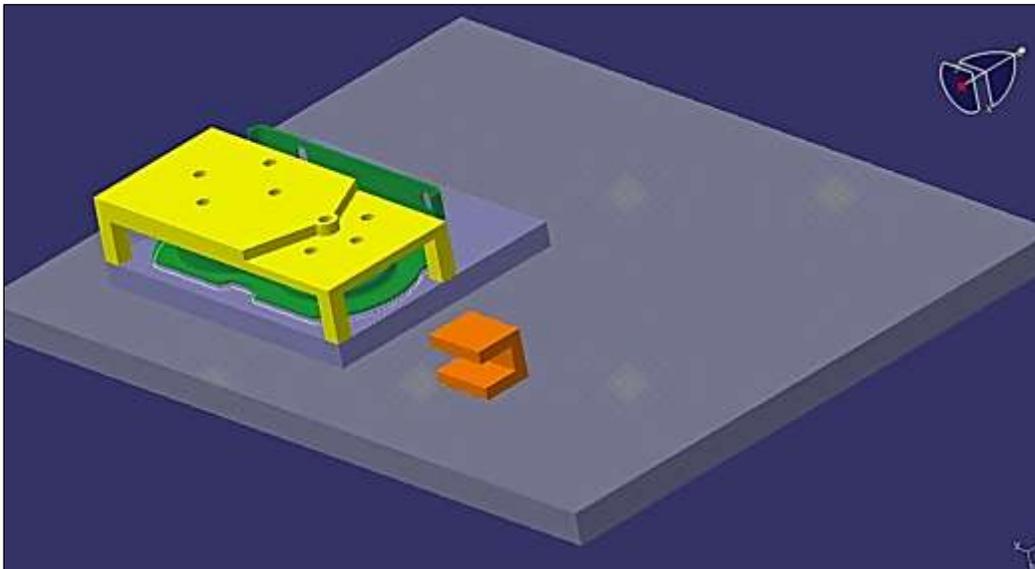


**Fig. 56 SET para medir alturas**  
**Fuente Propia**

### **3.6. MODELOS**

---

Una vez definida la forma del Dispositivo, se diseñaron dos modelos para medir las alturas de la pieza con la ayuda del SET. El primer modelo se diseñó con la pieza orientada sobre el plano horizontal, soportada por una base para poder localizar los barrenos en la pieza, como se muestra a continuación:

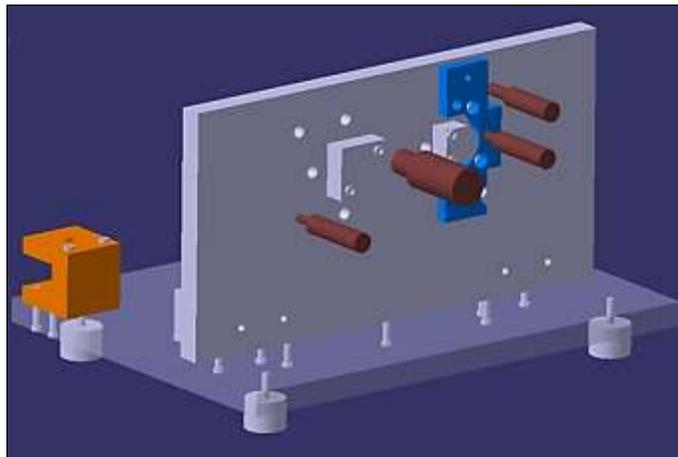


**Fig. 57 Modelo 1**  
**Fuente Propia**

Este diseño fue descartado debido a que la pieza de color amarillo consumiría demasiado material y sería poco ergonómico para realizar las mediciones, debido a que es menos cómodo posicionar los localizadores verticalmente; por otra parte necesitaría de un mecanismo extra para trasladar esa pieza a un costado de tal forma que quedara a un ángulo de 90° con respecto a la base, y poder introducir los localizadores a la pieza a controlar.

Los barrenos mostrados en la pieza amarilla serían por donde la punta del indicador pasaría para medir las alturas que tiene el número de parte, razón por la cual se pensó en otro modelo con la finalidad de hacer más fácil la manufactura y reducir los costos de material que consumiría el Dispositivo así como incrementar la ergonomía del mismo.

El segundo modelo fue el que mejor cumplía con todos los requerimientos tanto técnicos como de material para la manufactura del Dispositivo; se optimizó al máximo la forma de medir las alturas de la pieza de tal forma que se obtuvieron piezas pequeñas para dicho fin y permitieran que los localizadores cumplieran su función sin ningún impedimento, como se muestra en la siguiente figura, los localizadores están en la posición horizontal con respecto a los barrenos aumentando la precisión en la inspección.

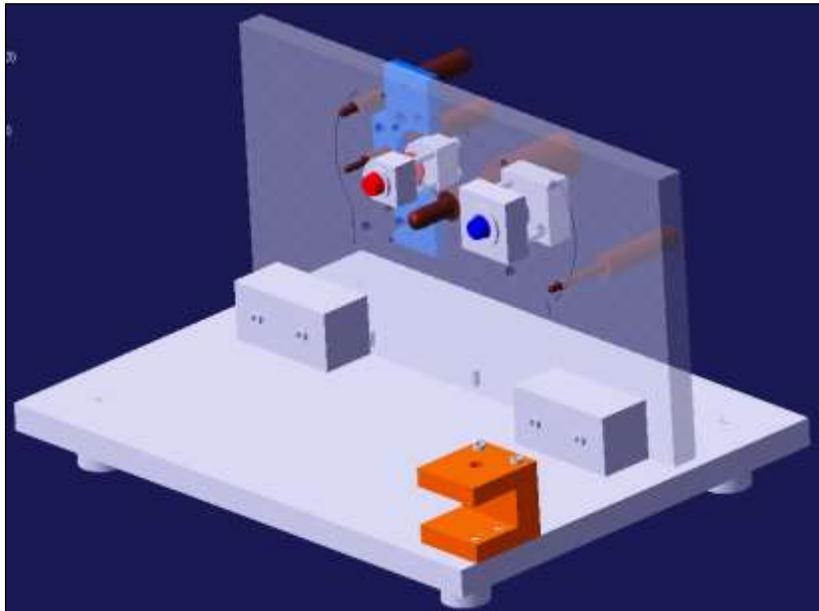


**Fig. 58 Modelo 2**

**Fuente Propia**

La pieza marcada de color azul es un Tacón el cual facilita la medición de las alturas que junto con los barrenos que se encuentran al lado de los localizadores marcados de color café y de las piezas que sujetan a los Datums B y C, cumplirán la función de la pieza de

color amarilla de la Fig. 57 sin interferir con la posición de los localizadores. Por lo que el dispositivo final queda de la siguiente manera:



**Fig. 59 Modelo Final del Dispositivo**  
**Fuente Propia**

### **3.7. MATERIALES-TECNOLOGIAS**

---

Ahora que se tiene definido el diseño del Dispositivo, se prosigue a investigar los materiales y las tecnologías que harán posible su manufactura.

En un principio se optó por realizar el Dispositivo de acero de baja calidad (SAE 1008-1010) para posteriormente meterlo a un horno y conseguir templearlo, pues casi todos los Dispositivos de Calidad están fabricados de acero templeado y en algunos casos de aluminio.

Pero el costo de una placa de acero, de 50 cm de ancho, 60 cm de largo y 3/4 de pulgada de espesor por muy sencillo que fuese estaba alrededor de \$2500 en promedio, más el costo de los redondos para fabricar los localizadores y los pernos allen que sujetaran todas las piezas, incrementaba el precio del Dispositivo considerablemente; añadiendo a esto el tiempo y complejidad en la manufactura. Por lo que junto con el proveedor, la universidad y la empresa se llegó a la conclusión de elaborar el Dispositivo con madera MDF (Fibra de Media Densidad por sus siglas en inglés). Las características que hacen al MDF un material

único para la manufactura del prototipo del Dispositivo son su excelente printabilidad y moldurabilidad, permite excelentes terminaciones con un importante ahorro de pintura y un menor desgaste de herramientas, versatilidad, excelente trabajabilidad en cortes precisos y perfectos, se puede moldurar, perfilar, perforar y rebajar fácilmente, así como una excelente retención de fijaciones (18).

La máquina que se utilizará para la manufactura es una Fresadora CNC Vertical Fagor, así como un cortador vertical extra largo con punta plana de 1/8", zanco de 1/8", 1" de longitud de corte y 3" de longitud total.

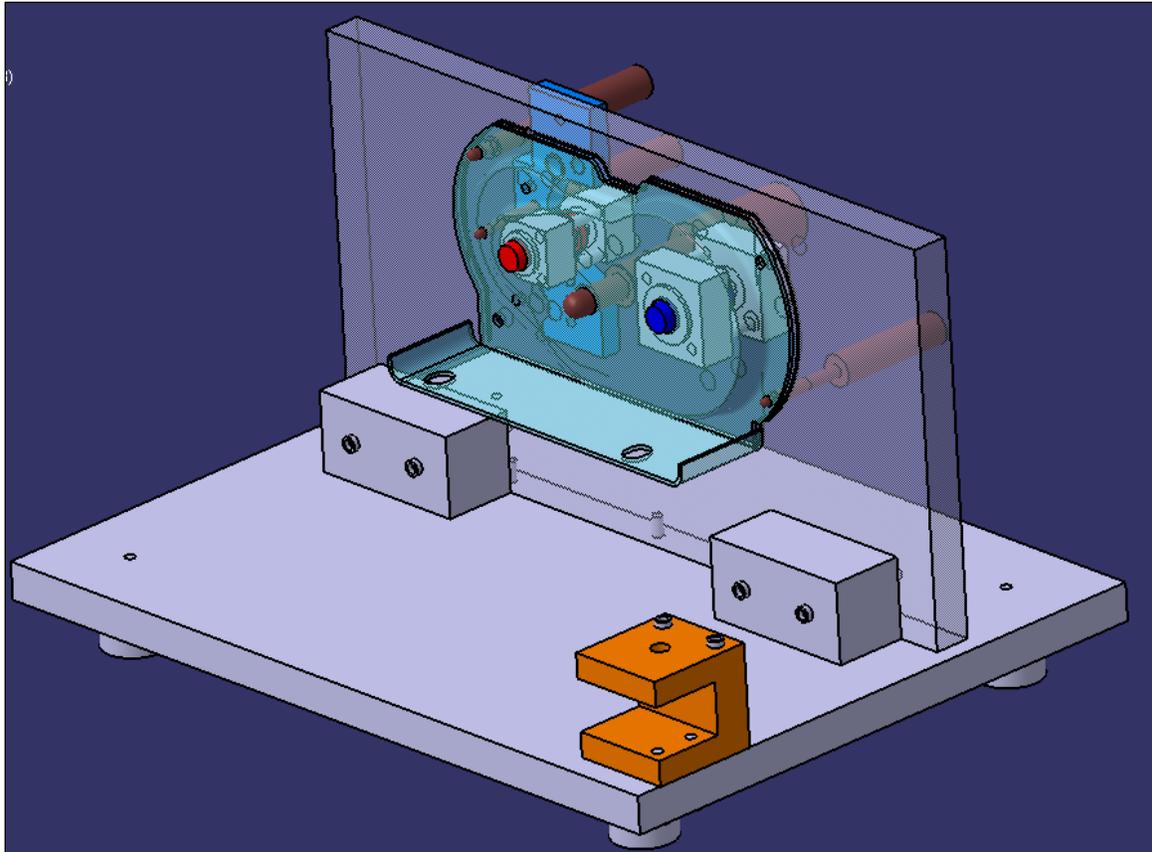
Como la Fresadora procesa la información mediante códigos numéricos, lo primero que se debe realizar para poder maquinar es transformar el diseño en 3D a estos códigos, mismos que se obtendrán con la ayuda del software CAD/CAM Visicad, pasando los diseños 3D de las partes a maquinar elaborados en CATIA a formato .STP, que es una de varias extensiones que maneja Visicad para la simulación de maquinado y generación de códigos numéricos.

### **3.8. ELABORACIÓN**

---

Debido a que se obtuvo el diseño final del Dispositivo, en una sucesiva operación se verificará si cumple con los requisitos que marca el dibujo de la pieza para la localización de barrenos mediante el modelo matemático proporcionado por la empresa.

En la siguiente figura se muestra que el Dispositivo cumple con los requisitos que marca el dibujo del número de parte para localizar los barrenos, logrando coincidir los localizadores y los Datums A, B y C con el modelo matemático (identificado con el color verde) de la empresa, mismo que les proporcionó el cliente.



**Fig. 60 Diseño 3D del Dispositivo del Prototipo**  
**Fuente Propia**

El siguiente paso es maquinar cada una de las piezas del Dispositivo en la Fresadora CNC, para lo cual primero debe quedar bien sujeta y alineada la madera a maquinar en el carro de la máquina, con el fin de evitar algún movimiento cuando el cortador comience su trabajo por la velocidad a la que corta; enseguida se copia el código a la memoria de la fresadora y se realiza una simulación del código numérico para cerciorarse que no exista ningún error al maquinar; por último se manda la máquina a Home, que es el origen de la pieza, para comenzar el maquinado.

En las siguientes figuras se muestra el proceso anterior y la hoja de proceso para realizar la verificación del número de parte con el dispositivo.



**Fig. 61 Sujeción y Alineación de la madera**

**Fuente Propia**



**Fig. 62 Códigos numéricos y Simulación del maquinado**

**Fuente Propia**



**Fig. 63 Maquinado**

**Fuente Propia**



### HOJA DE PROCESO

Departamento:  
Calidad

Estación: Inspección

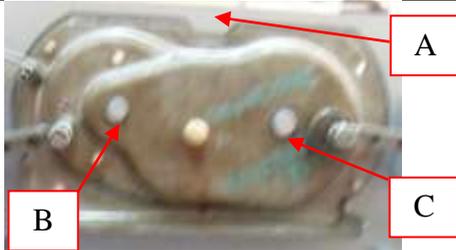
Hoja: 1 de 2

Núm.Pte.:  
3010130000

Equipo: Calibrador Funcional

Fecha: 01/02/2011

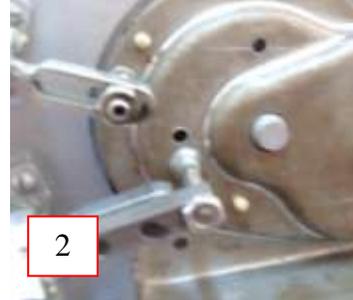
Objetivo: Inspeccionar las características críticas de la pieza 3010130000 mediante el Calibrador Funcional.



**Operación 1.-** Colocar la pieza asegurando los Datums A, B y C.



**Operación 2.-** Colocar Clamp 1.



**Operación 3.-** Colocar Clamp 2.

Realizó: Josafat Olmos

Revisó: Ignacio Castillo

Aprobó: Miguel G.

		HOJA DE PROCESO		
		Departamento: Calidad	Estación: Inspección	Hoja: 2 de 2
		Núm.Pte.: 3010130000	Equipo: Calibrador Funcional	Fecha: 01/02/2011
Objetivo: Inspeccionar las características críticas de la pieza 3010130000 mediante el Calibrador Funcional.				
		<b>Operación 4.-</b> Colocar Clamp 3.		
		<b>Operación 5.-</b> Verificar barrenos con localizadores.		
		<b>Operación 6.-</b> Verificar alturas con indicador. <ol style="list-style-type: none"> <li>Colocar el indicador en el claro del set y ajustarlo en ceros.</li> <li>Colocar el indicador en los barrenos del dispositivo para medir las alturas de la pieza.</li> </ol>		
Realizó: Josafat Olmos		Revisó: Ignacio Castillo		Aprobó: Miguel G.

### **3.9. VERIFICACIÓN**

---

Terminado el maquinado el siguiente paso es la validación del Dispositivo, misma que se realizará en el laboratorio de Metrología de Flex-N-Gate; donde el técnico metrólogo verificará que los barrenos del Dispositivo estén dentro de las posiciones reales que marca el CAD de la pieza mediante la Máquina de Medición por Coordenadas que cuenta con la certificación por parte del CENAM, para finalmente emitir un reporte de calibración indicando que el Dispositivo fue aprobado satisfactoriamente. En las siguientes imágenes se muestra este proceso.

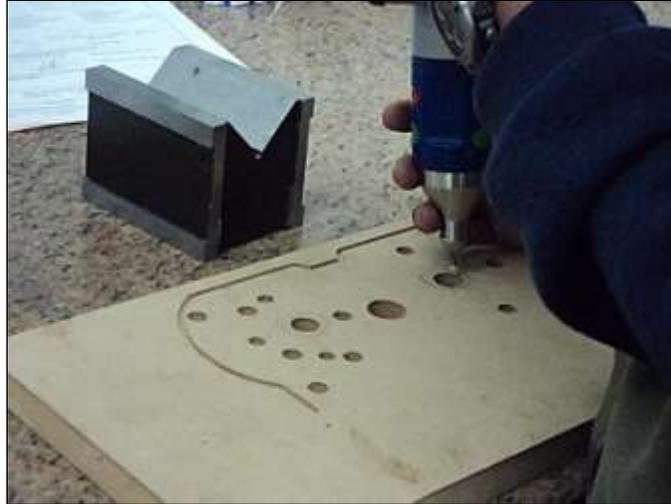
Primero se sienta la pieza en una mesa de mármol para que no exista movimiento y evitar desniveles durante la medición:



**Fig. 64 Sujeción en mesa de Mármol**

**Fuente Propia**

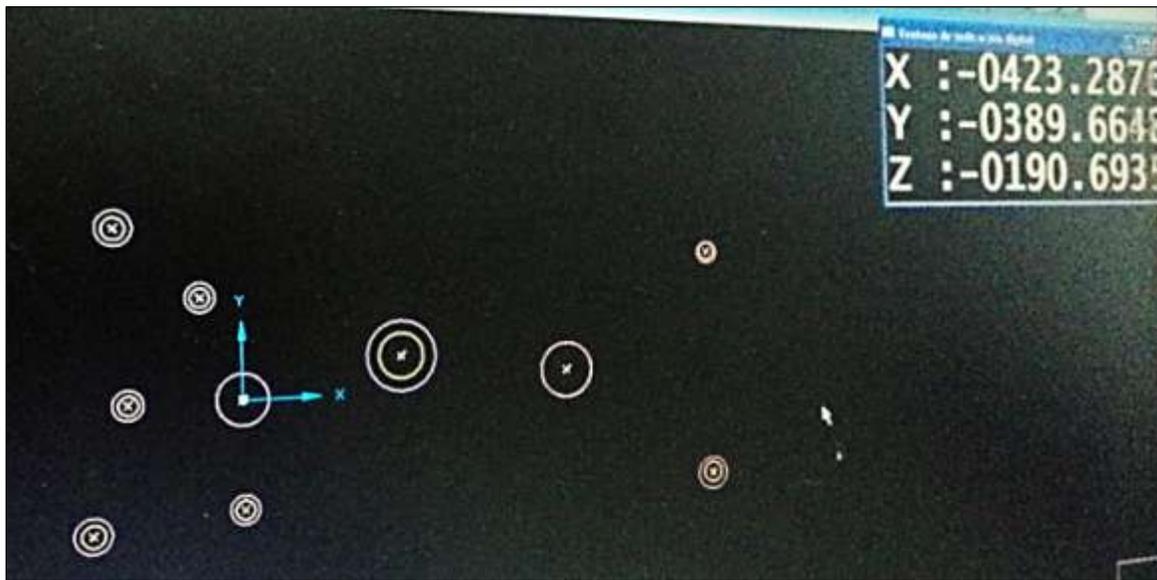
Ya que se consigue esto, lo siguiente es comenzar las mediciones. Primero se aseguran los Datums A, B y C debido a que son el marco de referencia para las demás mediciones de los barrenos, de lo contrario podemos obtener posiciones dentro de tolerancia de algún otro barreno, pero cuando se mida algún Datum existe la posibilidad que esté fuera de tolerancia provocando que las posiciones medidas estén fuera de las posiciones reales teniendo como consecuencia que el Dispositivo no sea aceptado. Una vez lo anterior el siguiente paso es verificar el resto de los barrenos comprobando que sus posiciones estén dentro de las tolerancias ideales que marca el CAD de la pieza en el programa de la Máquina de Coordenadas. Véase Fig. 65.



**Fig. 65 Validación de Barrenos**

**Fuente Propia**

Los barrenos de color amarillo representan la posición real o ideal del CAD, y los de color morado muestran la posición de los barrenos medidos en el Dispositivo. El eje de cada barreno del Dispositivo deberá coincidir con el eje de los barrenos ideales:



**Fig. 66 Posición real y del Dispositivo de los barrenos**

**Fuente Propia**

Como se observa en la figura anterior todos los barrenos del Dispositivo coinciden con la posición real, es decir todos los barrenos se encuentran dentro de las tolerancias permisibles.



**Fig. 67 Proceso de Validación**

**Fuente Propia**

Finalmente al término de todas las mediciones se emitió un reporte de calibración que desglosa todas las mediciones realizadas y muestra el tamaño de la zona de tolerancia obtenida. Con lo que se afirma que los barrenos y Datums del Dispositivo que controlan esas características en la pieza están dentro de control.

### **3.10. DIBUJOS CONSTRUCTIVOS**

---

Para finalizar el proceso se realizan los dibujos constructivos de las siguientes piezas que conforman el Dispositivo, mismas que se pueden observar en el ANEXO 8:

1. Isométrico 1 y 2.
2. Localizadores 1,2 y 4.
3. Localizador 3.
4. Datum C.
5. Datum B.
6. Base Dispositivo.
7. Datum A.
8. SET.
9. Tacón.
10. Base Clamp C.
11. Base Clamp B.



# CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES



## 4.1. ALCANCE DE OBJETIVOS Y META

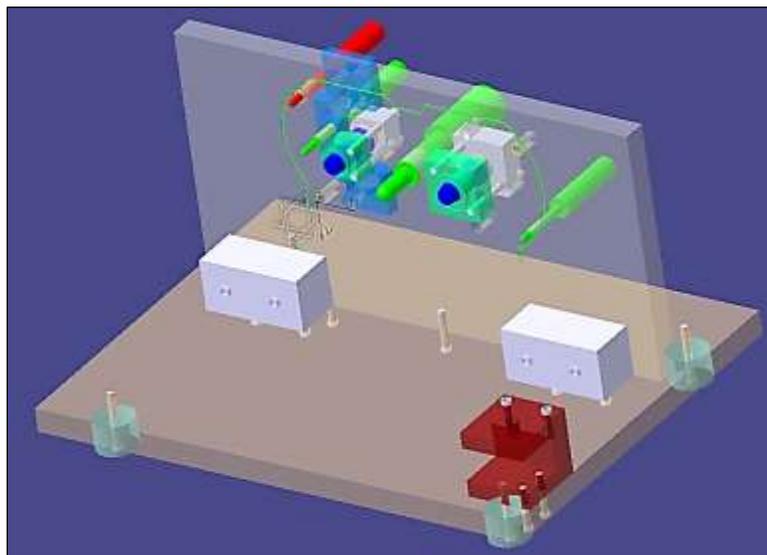
---

Una vez terminado el prototipo, se analizarán el cumplimiento de los objetivos y metas que se plantearon al principio de este proyecto de tesis.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

El objetivo: *“Identificar las características críticas de la pieza mediante especificaciones técnicas de dibujo para determinar las dimensiones del dispositivo”* se cubrió en su totalidad en la cuarta parte de la metodología: Análisis de Datos, determinando las dimensiones de los barrenos mediante la condición virtual para la manufactura del prototipo a partir de la tolerancia de posición dentro de las GD&T para localización de barrenos.

El objetivo: *“Obtener un diseño en 3D del dispositivo mediante el modelo matemático de la pieza para simular la verificación de las cotas críticas y datums que especifica el dibujo del número de parte”* se cubrió en su totalidad en la fase 5 y 6 de la Metodología correspondientes a Creatividad y Modelos, donde se obtuvieron dos propuestas en los cuales se analizó la factibilidad de la manufactura, el costo del material y el tiempo de fabricación. Estos diseños se obtuvieron mediante el software CATIA.

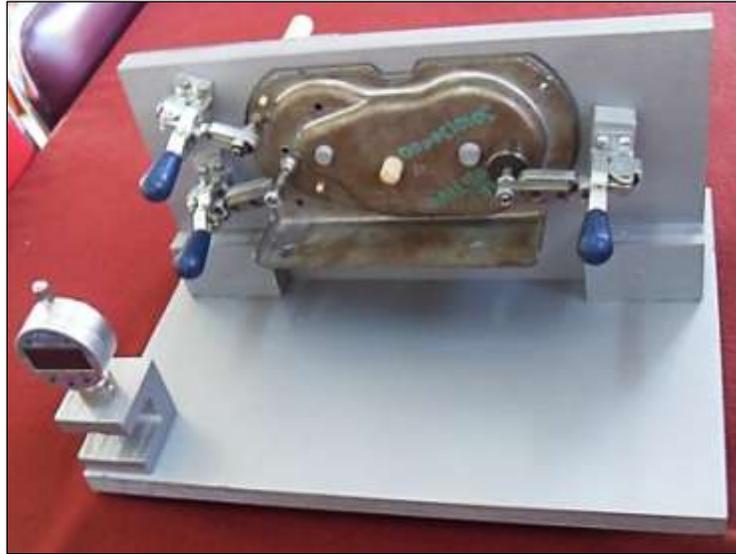


**Fig. 68** Diseño 3D elaborado en CATIA del Dispositivo

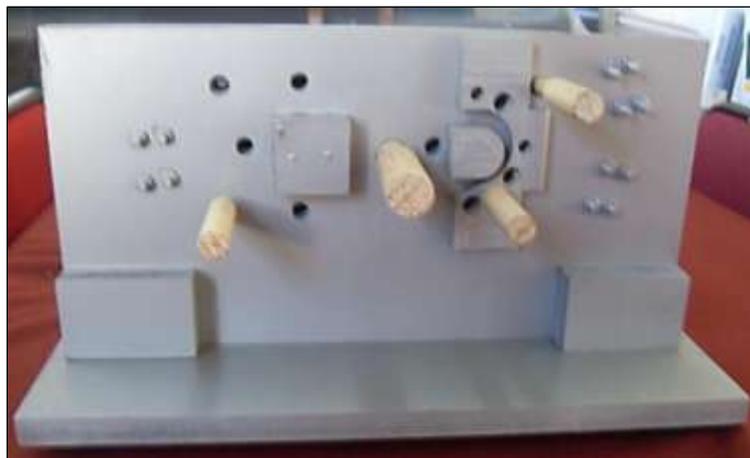
**Fuente Propia**

El objetivo: *“Desarrollar un prototipo a través del diseño anterior para su posterior validación por parte de la empresa”* fue cubierto al 100% en la fase 9 de la Metodología

correspondiente a la Validación; en las siguientes figuras se muestra el Dispositivo para localización de barrenos como prototipo para su posterior fabricación por parte de la empresa, el cual cumple con las tolerancias de posición que marca el CAD de la pieza satisfactoriamente



**Fig. 69 Prototipo parte Frontal**  
**Fuente Propia**



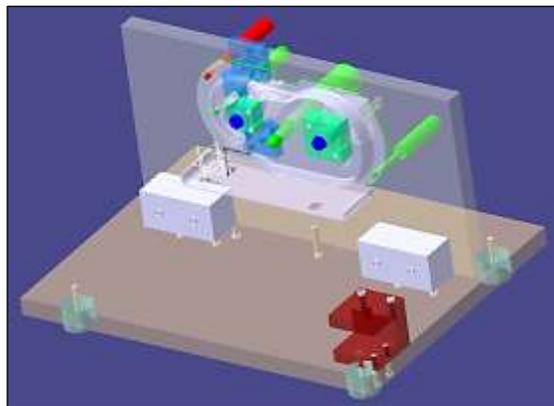
**Fig. 70 Prototipo parte Trasera**  
**Fuente Propia**



**Fig. 71 Inspección de la pieza en el Prototipo**  
**Fuente Propia**

### **OBJETIVO GENERAL**

Después de dar cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos, se continuará con el análisis del objetivo general, el cual señala: “*Diseñar un Calibrador Funcional pasa-no pasa de la pieza 3010130000 utilizando GD&T y herramientas CAD/CAM para disminuir el tiempo de inspección*”. El cual fue cubierto satisfactoriamente al obtener el diseño final del Dispositivo mismo que se utilizó para la elaboración del prototipo. Para verificar que el tiempo de inspección disminuye, en las siguientes tablas se muestra el estudio de tiempos del método de validación que se ha venido realizando con la Máquina de coordenadas y el método de validación con el GAGE GO/NO GO.



**Fig. 72 Verificación del diseño del Dispositivo con el modelo matemático de la pieza**  
**Fuente Propia**

**Tabla 17 Estudio de Tiempos con el GAGE GO/NO GO**

**Fuente Propia**

		ESTUDIO DE TIEMPOS										Estudio núm.: 1		
		Área:Calidad		Departamento: Lab. Metrología				Equipo: GAGE GO/NO GO				Fecha: 27/12/10		
		Proceso: Inspección pza.			Pza.: Housing-Support Plate			Parte:3010130000				Hoja: 1 de 1		
Elemento	Ciclos										Tiempo total	T. elem. Medio	T. elem. normal	ocurr./unid.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ciclos útiles	Factor de calif.	T. base	
1	Colocar la pieza en el dispositivo										35.8	3.58	3.938	1
											10	1.1		3.938
2	Clampear										35.2	3.52	3.872	1
											10	1.1		3.872
3	Inspección de barrenos con localizadores										193.5	19.35	21.285	1
											10	1.1		21.285
4	Inspección de alturas con indicador										222.9	22.29	24.519	1
											10	1.1		24.519
Observaciones: Tiempo en segundos; Método: Regresión a cero											<b>Tiempo Base Total</b>		53.614	
											<b>Factor de Tolerancia</b>		1.11	
Analista: E. Josafat Ruíz O.		Operario: José Jiménez				Aprobó: Miguel A. García				<b>Tiempo Estándar</b>		59.51154		

**Tabla 18 Estudio de Tiempos con la Máquina de Coordenadas**

**Fuente Propia**

		ESTUDIO DE TIEMPOS										Estudio núm.: 1		
		Área:Calidad		Departamento: Lab. Metrología				Equipo: Máquina de coordenadas				Fecha: 27/12/10		
		Proceso: Inspección pza.			Pza.: Housing-Support Plate			Parte:3010130000				Hoja: 1 de 1		
Elemento	Ciclos										Tiempo total	T. elem. Medio	T. elem. normal	ocurr./unid.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ciclos útiles	Factor de calif.	T. base	
1	Fijar la pieza en la mesa de mármol										56.5	11.3	12.43	1
											5	1.1		12.43
2	Inspección de pieza con máquina de coordenadas										1490	298	327.8	1
											5	1.1		327.8
3	Emisión de reporte										720	144	158.4	1
											5	1.1		158.4
Observaciones: Tiempo en segundos; Método: Regresión a cero											<b>Tiempo Base Total</b>		498.63	
											<b>Factor de Tolerancia</b>		1.11	
Analista: E. Josafat Ruíz O.		Operario: Miguel A. García				Aprobó: Álvaro Galván				<b>Tiempo Estándar</b>		553.4793		

Donde el Factor de Calificación se determinó a través del Sistema Westinghouse tomando en cuenta los siguientes aspectos:

Habilidad=3%, Esfuerzo=5%, Condiciones=2% y Consistencia=0%. Lo que sumado da 10%, por tanto el Factor de Calificación es 1.1.

Y el Factor de Tolerancia se obtuvo con los siguientes datos:

La empresa labora de 7am a 3:30 pm, y se dispone de 30 min para comer; Interrupciones Personales de 20 min, Fatiga 4% y Retraso Inevitable de 2%.

## **META**

De acuerdo a los estudios de tiempos anteriores, la meta “*Reducir el tiempo de inspección de la pieza en un 80% del tiempo actual*” fue superada al comparar el tiempo que existe en cada método de inspección, como se muestra a continuación:

Tiempo estándar de la inspección con la Máquina de Coordenadas=553.47 seg

Tiempo estándar de la inspección con el GAGE GO/NO NO=59.51 seg

De aquí que:

$$\frac{59.51}{553.47} = 0.107 \therefore 1 - 0.107 = 0.892 \leftrightarrow 89.2\%$$

Con esta operación matemática se demuestra que el tiempo de inspección de la pieza se logró reducir en un 89.2%, dato que demuestra la importancia de fabricar este Dispositivo con el proveedor más confiable de la empresa, obteniendo excelentes resultados en el control de calidad en la manufactura de la pieza 3010130000.

## **4.2. CONCLUSIONES**

---

Las Tolerancias Geométricas actualmente son usadas con más frecuencia en la industria manufacturera debido a que simplifican en gran medida la interpretación de los dibujos de ingeniería y la manera en cómo debe funcionar una parte, así como mejora la comunicación entre los departamentos involucrados con la calidad del producto; por lo que en este trabajo fueron la base principal para poder desarrollar el diseño y prototipo de un Calibrador Funcional Pasa/ No pasa a través de las características críticas de la parte.

Desafortunadamente existe poca oferta educativa en México especializada en este tema ocasionando que se encuentren numerosos ejemplos erróneos tratando de implementar las GD&T, provocando su difícil interpretación. En este caso se contó con la asesoría de personal especializado en la norma ASME Y14.5 de la empresa, pudiendo facilitar la interpretación de la pieza en estudio.

Por otra parte se comprobó que el dispositivo cumple con los requerimientos tanto de la empresa como de la pieza, mediante el reporte de calibración emitido por el responsable de

validar todos los Dispositivos que llegan a Flex-N-Gate. Dicho reporte ampara el diseño del Dispositivo por lo cual la empresa puede mandarlo a fabricar sin ningún problema.

Además se corroboró que el método de inspección con la Máquina de Coordenadas es más lento que con el Dispositivo como se demostró en el estudio de tiempos; lo que lógicamente repercute en el control de calidad para este número de parte, debido a que actualmente validan únicamente 5 piezas al inicio de la producción ya que es una pieza de servicio, es decir, solamente se fabrica una vez al año; mientras el resto de los productos se verifica cada hora una sola pieza terminada de un lote en las líneas de producción en caso de contar con un Dispositivo.

Con el uso de este Dispositivo se permitirá controlar la calidad de las piezas cada hora con un mínimo de tiempo incrementando la confiabilidad del producto. Por lo que se concluye que es factible fabricar adecuadamente el Calibrador Funcional para controlar la calidad de este número de parte.

Finalmente el uso de la metodología Proyectual ayudó a concebir claramente cada elemento constitutivo del proyecto hasta obtener el prototipo terminado, utilizando adecuadamente toda la información disponible disminuyendo el margen de error en cada etapa del trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

---

1. **Rodríguez MGE, Gerardo.** *Manual de diseño industrial.* Edo. de México : Litoarte, S.A. de C.V. 968-887-027-7.
2. Toolingu confidence to compete. *introducción a GD&T 200.* [En línea] Tooling University, LLC, 2010. [Citado el: lunes de julio de 2010.] <http://www.toolingu.com/definition-351200-30048-calibrador-funcional.html>.
3. *Experiencia docente en la aplicación de la normatividad para control geométrico GD&T, en partes mecánicas mediante ambientes CAD.* **Díaz Salcedo, Juan Manuel.** Cusco : Federación Iberoamericana de ingeniería mecánica, 2007.
4. Cadtech. *diseño CATIA.* [En línea] grupo CT, viernes de agosto de 2010. [Citado el: jueves de agosto de 2010.] <http://www.cadtech.es/disen0-catia.html>.
5. **Munari, Bruno.** *Cómo nacen los objetos, apuntes para una metodología proyectual.* Barcelona : Gustavo Gili, S.A., 1983. 84-252-1 154-9.
6. *Control estadístico de la calidad de un servicio mediante Gráficas X y R.* **Pierdant Rodríguez, Alberto Isaac y Rodríguez Franco, Jesús.** 32, México : redalyc, 2009, Vols. politica-cultura. 0188-7742.
7. **Raúl Velasco, Benjamín Soriano.** herramientas de la metrología en sistemas de calidad. *La Guía MetAs.* septiembre, 2004, Vol. 3, 9.
8. **Asociados, MetAs & Metrólogos.** Gestión Metrológica de Equipo de M&M. *La Guía MetAs.* mayo, 2004, Vol. 3, 5.
9. **Secretaría de Economía.** *CENAM.* [En línea] 2010. [Citado el: 30 de Noviembre de 2010.] [http://www.cenam.mx/dimensional/patrones\\_nacionales.aspx](http://www.cenam.mx/dimensional/patrones_nacionales.aspx).
10. **MetAs & Metrólogos Asociados.** *Metrología Dimensional.* Jalisco, México : s.n., 2009.
11. **Vilchis Rodríguez, Jesús Guillermo.** *Manual GD&T tolerancias geométricas e interpretación de planos.* Querétaro : CMM-METROLOGYCA S. C.

12. **Peru, Universidad.** Universidadperu. [En línea] 2010. [Citado el: 29 de noviembre de 2010.] <http://www.universidadperu.com/disenio-industrial-peru.php>.
13. **Templates.songlam.com.** TRIAD Technologies, Inc. [En línea] TRIAD Technologies, Inc., 2001. [Citado el: 28 de Noviembre de 2010.] <http://www.triadgages.com/Functional%20FIXTURE%20GAGES.htm>.
14. **Reyes A., Primitivo.** *Dimensiones y Tolerancias Geométricas*. 2003.
15. **Jensen, Cecil, D. Helsel, Jasy y R. Short, Dennis.** *Dibujo y diseño en ingeniería*. México, D.F. : McGraw-Hill Interamericana, 2006. 970-10-3967-X.
16. **ASME.** *Dimensioning and Tolerancing*. New York : The American Society of Mechanical Engineers, 2009. 978-0-7918-3192-2.
17. **Aires, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos.** FIUBA. [En línea] 2009. [Citado el: 2 de Diciembre de 2010.] [http://materias.fi.uba.ar/6712M/tolerancias\\_geometricas.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6712M/tolerancias_geometricas.pdf).
18. **Ltd, All-Biz.** ForestMex, S.A. *Tablero de fibras de Madera MDF*. [En línea] All-Biz, 2005-2011. [Citado el: 10 de Enero de 2011.] <http://1205.mx.all-biz.info/cat.php?oid=3663>.

# ANEXOS

## ANEXO 1 COMPARACIÓN DE SÍMBOLOS

SYMBOL FOR:	ASME Y14.5	ISO
STRAIGHTNESS	—	—
FLATNESS		
CIRCULARITY		
CYLINDRICITY		
PROFILE OF A LINE		
PROFILE OF A SURFACE		
ALL AROUND		
ALL OVER		(proposed)
ANGULARITY		
PERPENDICULARITY		
PARALLELISM		
POSITION		
CONCENTRICITY (Concentricity and Coaxiality in ISO)		
SYMMETRY		
CIRCULAR RUNOUT		
TOTAL RUNOUT		
AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION		
AT MAXIMUM MATERIAL BOUNDARY		NONE
AT LEAST MATERIAL CONDITION		
AT LEAST MATERIAL BOUNDARY		NONE
PROJECTED TOLERANCE ZONE		
TANGENT PLANE		NONE
FREE STATE		
UNEQUALLY DISPOSED PROFILE		UZ (proposed)
TRANSLATION		NONE
DIAMETER	$\varnothing$	$\varnothing$
BASIC DIMENSION (Theoretically Exact Dimension in ISO)		
REFERENCE DIMENSION (Auxiliary Dimension in ISO)	(50)	(50)
DATUM FEATURE		or

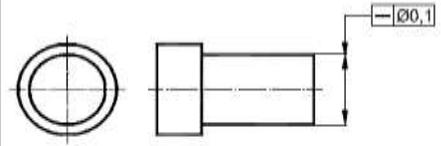
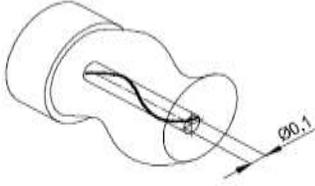
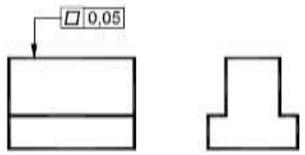
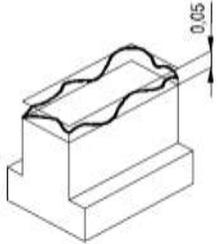
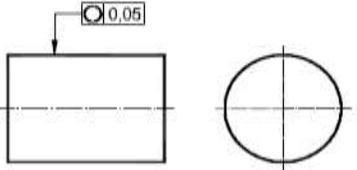
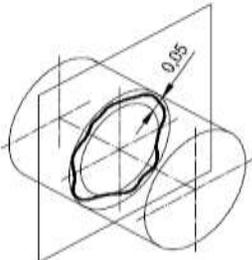
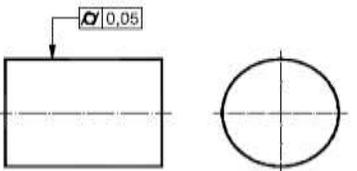
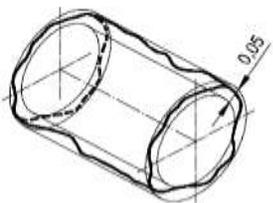
\* May be filled or not filled

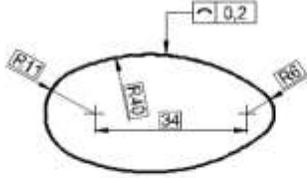
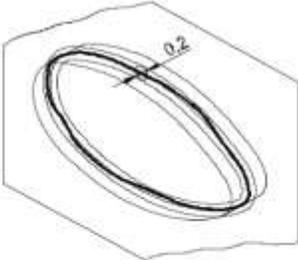
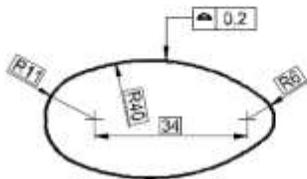
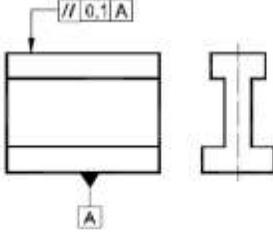
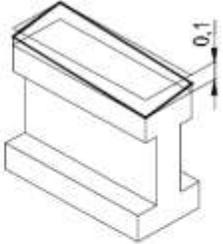
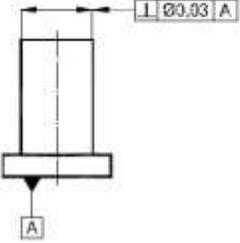
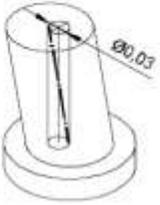
ANEXO 2 COMPARACIÓN DE OTROS SÍMBOLOS

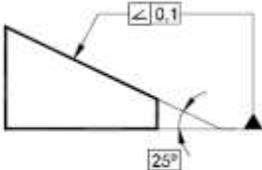
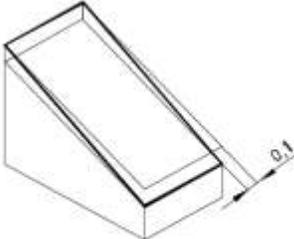
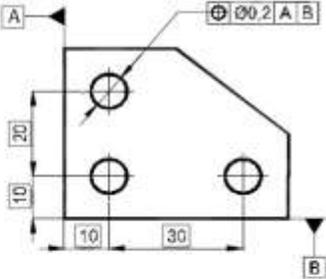
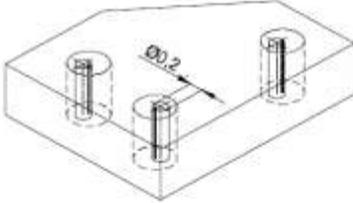
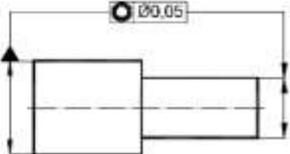
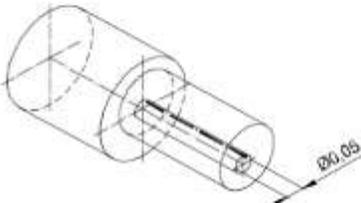
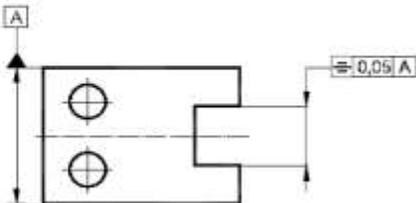
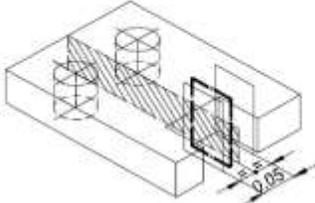
SYMBOL FOR:	ASME Y14.5	ISO
DIMENSION ORIGIN		
FEATURE CONTROL FRAME		
CONICAL TAPER		
SLOPE		
COUNTERBORE		NONE
SPOTFACE		NONE
COUNTERSINK		NONE
DEPTH/DEEP		NONE
SQUARE		
DIMENSION NOT TO SCALE	<u>15</u>	<u>15</u>
NUMBER OF PLACES	8X	8X
ARC LENGTH		
RADIUS	R	R
SPHERICAL RADIUS	SR	SR
SPHERICAL DIAMETER	S $\phi$	S $\phi$
CONTROLLED RADIUS	CR	NONE
BETWEEN	*	
STATISTICAL TOLERANCE		NONE
CONTINUOUS FEATURE		NONE
DATUM TARGET		
MOVABLE DATUM TARGET		
TARGET POINT		

\* May be filled or not filled

### **ANEXO 3 EJEMPLOS DE INDICACIÓN E INTERPRETACIÓN DE TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS**

TIPO DE TOLERANCIA	CARACTERÍSTICAS	SIMBOLO	INDICACION EN EL DIBUJO	ZONA DE TOLERANCIA	INTERPRETACION
Forma	Rectitud	—			El eje del cilindro controlado deberá estar contenido en el interior de un cilindro de 0,1 mm. de diámetro.
	Planicidad				La superficie plana deberá estar contenida entre dos planos paralelos separados 0,05 mm.
	Redondez				El contorno circular de cualquier sección transversal deberá estar contenido entre dos circunferencias concéntricas cuya diferencia de radios es 0,05 mm.
	Cilíndricidad				La superficie cilíndrica deberá estar contenida entre dos cilindros coaxiales cuya diferencia de radios es 0,05 mm.

TIPO DE TOLERANCIA	CARACTERÍSTICAS	SIMBOLO	INDICACION EN EL DIBUJO	ZONA DE TOLERANCIA	INTERPRETACION
Forma	Forma de una línea				En cada sección paralela al plano de proyección, el perfil controlado deberá estar contenido entre dos envolventes de círculos de diámetro 0,2 mm., cuyos centros están situados sobre un perfil geométricamente perfecto.
	Forma de una superficie				La superficie controlada deberá estar contenida entre dos superficies envolventes de esferas de diámetro 0,2 mm., cuyos centros están situados sobre una superficie geométrica perfecta.
Orientación	Paralelismo				El plano controlado deberá estar contenido entre dos planos paralelos separados 0,1 mm. y paralelos al plano de referencia A.
	Perpendicularidad				El eje del cilindro controlado deberá estar contenido dentro de un cilindro de diámetro 0,03 mm. y eje perpendicular al plano de referencia A.

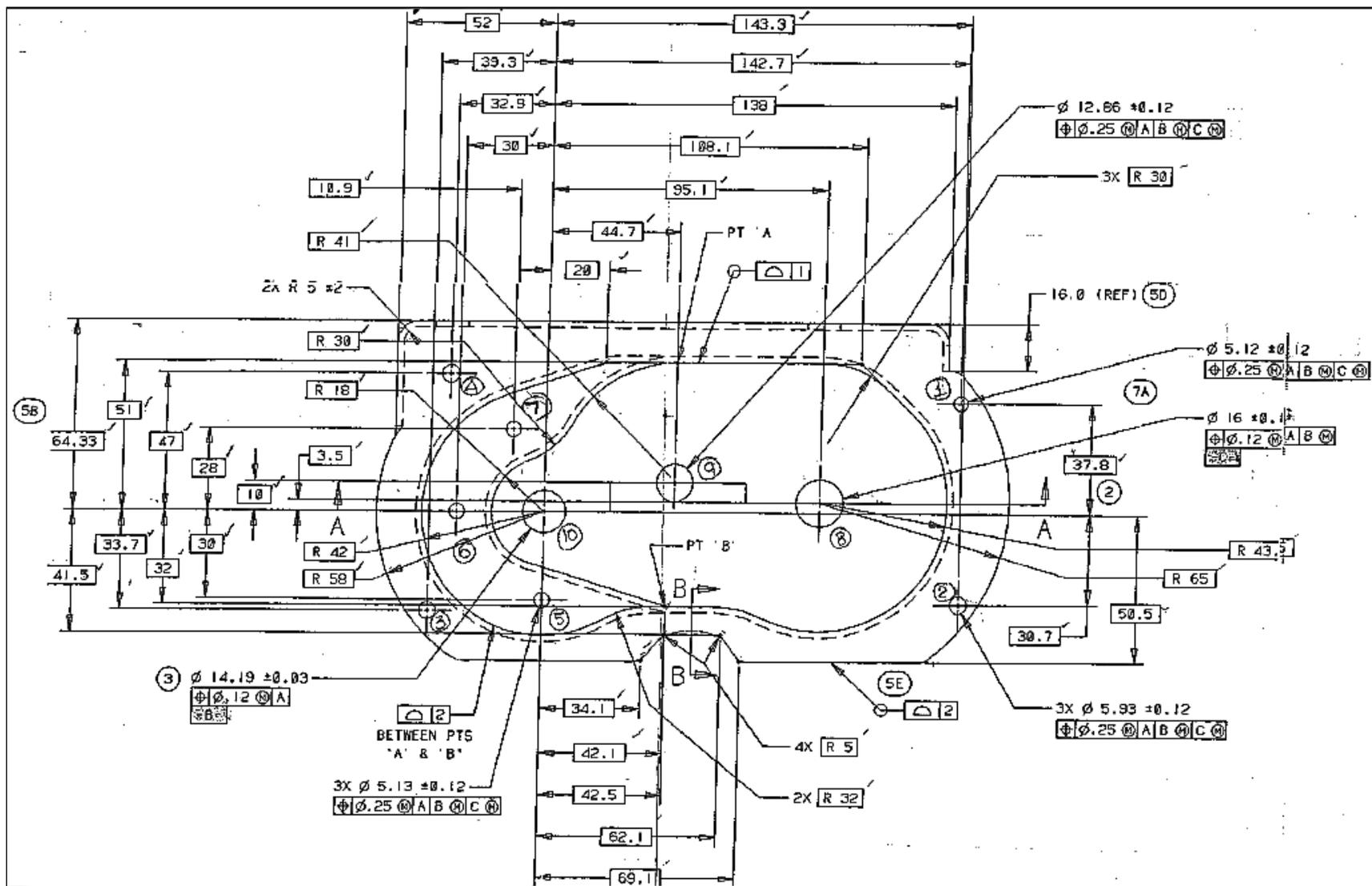
TIPO DE TOLERANCIA	CARACTERÍSTICAS	SIMBOLO	INDICACION EN EL DIBUJO	ZONA DE TOLERANCIA	INTERPRETACION
Orientación	Inclinación				El plano controlado deberá estar contenido entre dos planos paralelos separados 0,1 mm, e inclinados 25° con respecto al plano de referencia A.
Situación	Posición				Cada uno de los ejes de los tres taladros deberá estar situado dentro de un cilindro de diámetro 0,2 mm., cuyo eje coincidirá con la posición teórica exacta de los ejes de dichos taladros, la cual ha sido establecida con respecto a los planos de referencia A y B.
	Concentricidad y Coaxialidad				El eje del cilindro controlado deberá estar situado dentro de un cilindro de diámetro 0,05 mm., y coaxial con el eje de referencia A.
	Simetría				El plano de simetría de la ranura deberá estar situado entre dos planos paralelos separados 0,05 mm., y situados simétricamente con respecto al plano medio A de referencia.

TIPO DE TOLERANCIA	CARACTERÍSTICAS	SÍMBOLO	INDICACIÓN EN EL DIBUJO	ZONA DE TOLERANCIA	INTERPRETACIÓN
Oscilación	Circular				<p><b>OSCILACION CIRCULAR RADIAL:</b></p> <p>En cualquier posición de medición radial, la oscilación máxima del contorno de la sección correspondiente está limitada por dos círculos concéntricos cuya diferencia de radios es 0,1 mm, y centro coincidente con el eje de referencia A-B, durante una revolución completa de la pieza alrededor de dicho eje.</p>
					<p><b>OSCILACION CIRCULAR AXIAL:</b></p> <p>En cualquier posición de medición axial, la oscilación máxima del contorno de la sección correspondiente está limitada por dos círculos paralelos separados 0,1 mm, y centro coincidente con el eje de referencia A, durante una revolución completa de la pieza alrededor de dicho eje.</p>
	Total				<p><b>OSCILACION TOTAL RADIAL:</b></p> <p>En toda la superficie cilíndrica, la máxima oscilación radial que puede presentar la misma está limitada por dos cilindros coaxiales cuya diferencia de radios es 0,1 mm, y cuyos ejes coinciden con el eje de referencia A-B, durante varias revoluciones de la pieza alrededor de dicho eje y con desplazamiento axial del equipo de medida.</p>
					<p><b>OSCILACION TOTAL AXIAL:</b></p> <p>En toda la superficie especificada, la máxima oscilación axial que puede presentar la misma está limitada por dos planos paralelos separados 0,1 mm, y perpendiculares al eje de referencia A, durante varias revoluciones de la pieza alrededor de dicho eje y con desplazamiento radial del instrumento de medida.</p>

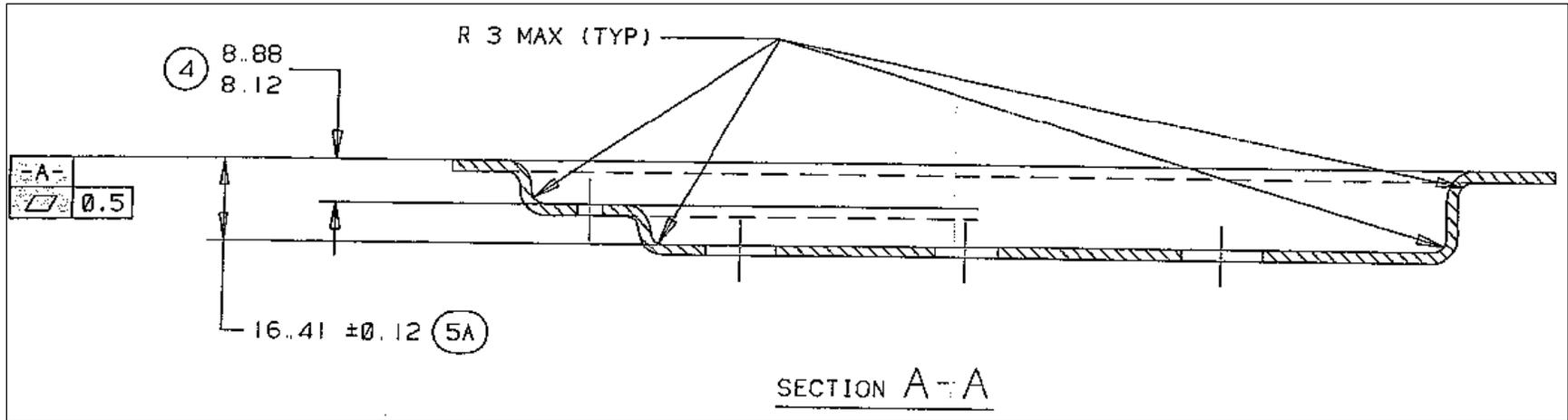
ANEXO 4 SÍMBOLOS DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

APPLICATION	TYPE OF TOLERANCE	CHARACTERISTIC	SYMBOL
INDIVIDUAL FEATURES	FORM	STRAIGHTNESS	—
		FLATNESS	
		CIRCULARITY	
		CYLINDRICITY	
INDIVIDUAL OR RELATED FEATURES	PROFILE	PROFILE OF A LINE	
		PROFILE OF A SURFACE	
RELATED FEATURES	ORIENTATION	ANGULARITY	
		PERPENDICULARITY	
		PARALLELISM	
	LOCATION	POSITION **	
		CONCENTRICITY	
		SYMMETRY	
	RUNOUT	CIRCULAR RUNOUT	
		TOTAL RUNOUT	

ANEXO 5 VISTA FRONTAL DEL NÚMERO DE PARTE

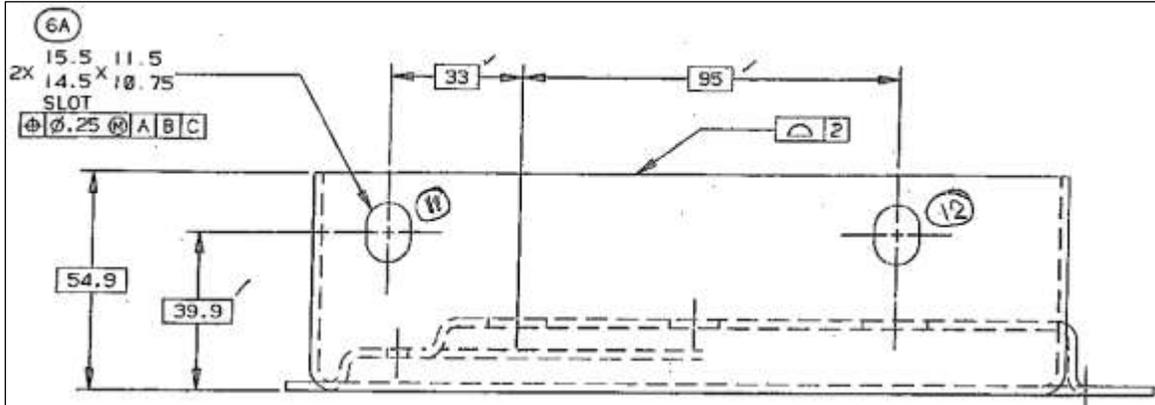


ANEXO 6 CORTE A-A DE LA PIEZA

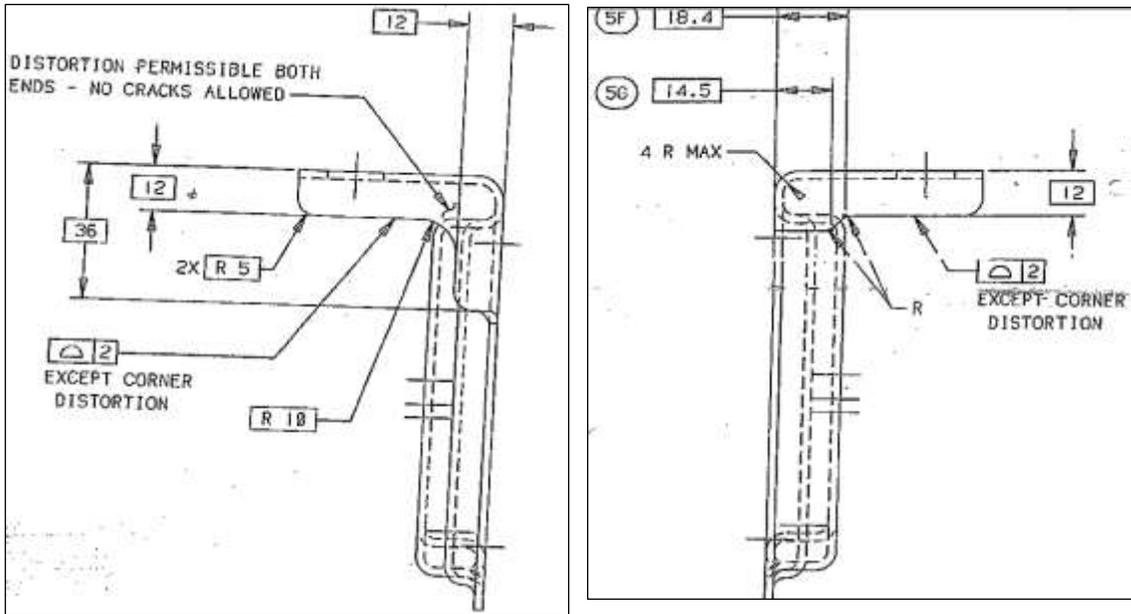


ANEXO 7 VISTAS DE LA PIEZA

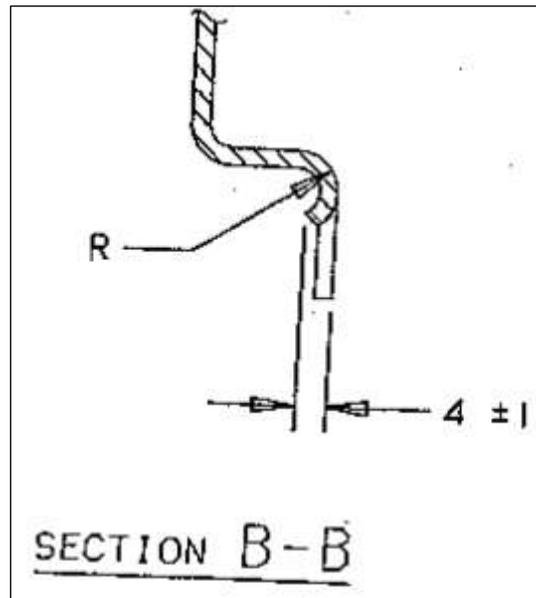
Vista Superior



Vistas Laterales

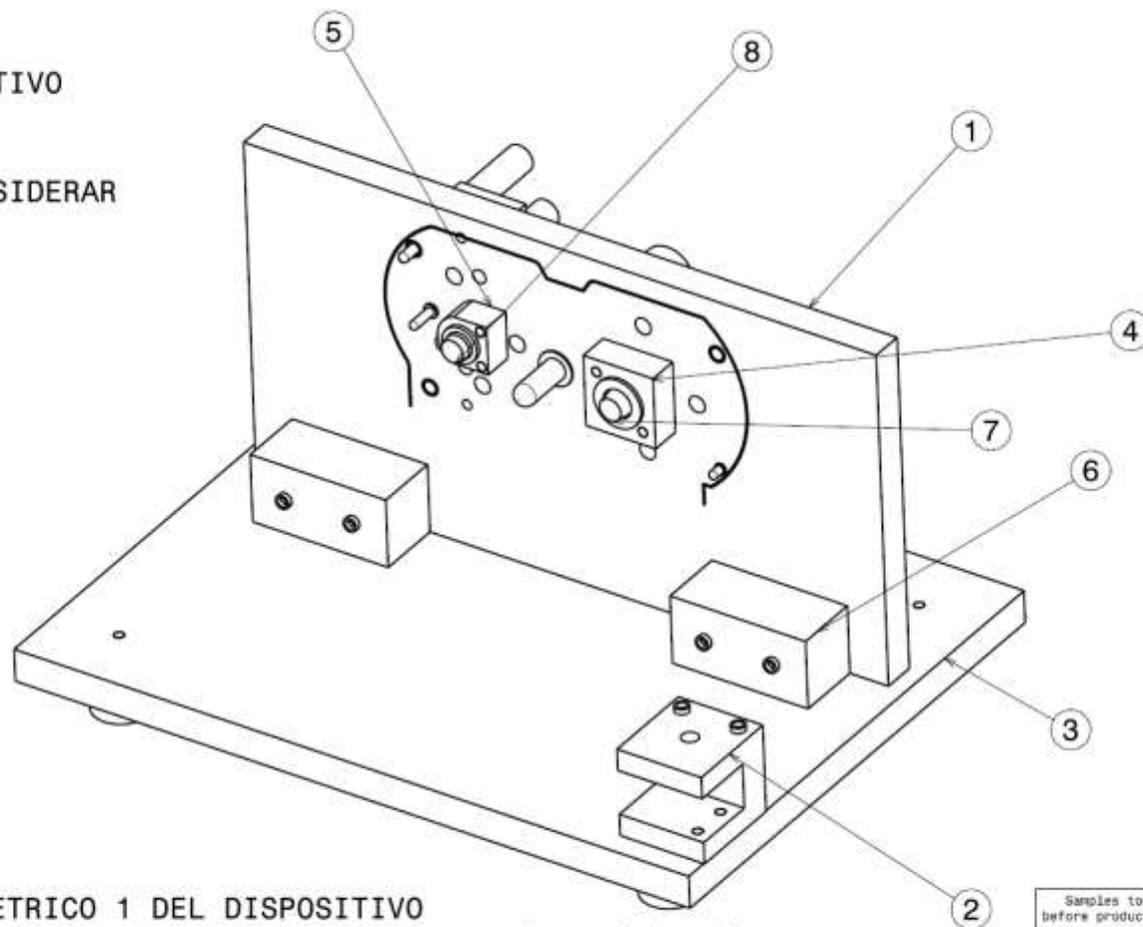


Corte B-B



**ANEXO 8 DIBUJOS CONSTRUCTIVOS DEL PROTOTIPO DEL DISPOSITIVO**

- 1-DATUM A
- 2-SET
- 3-BASE DISPOSITIVO
- 4-BASE\_CLAMP C
- 5-BASE\_CLAMP B
- 6-PART7: A CONSIDERAR
- 7-DATUM C
- 8-DATUM B

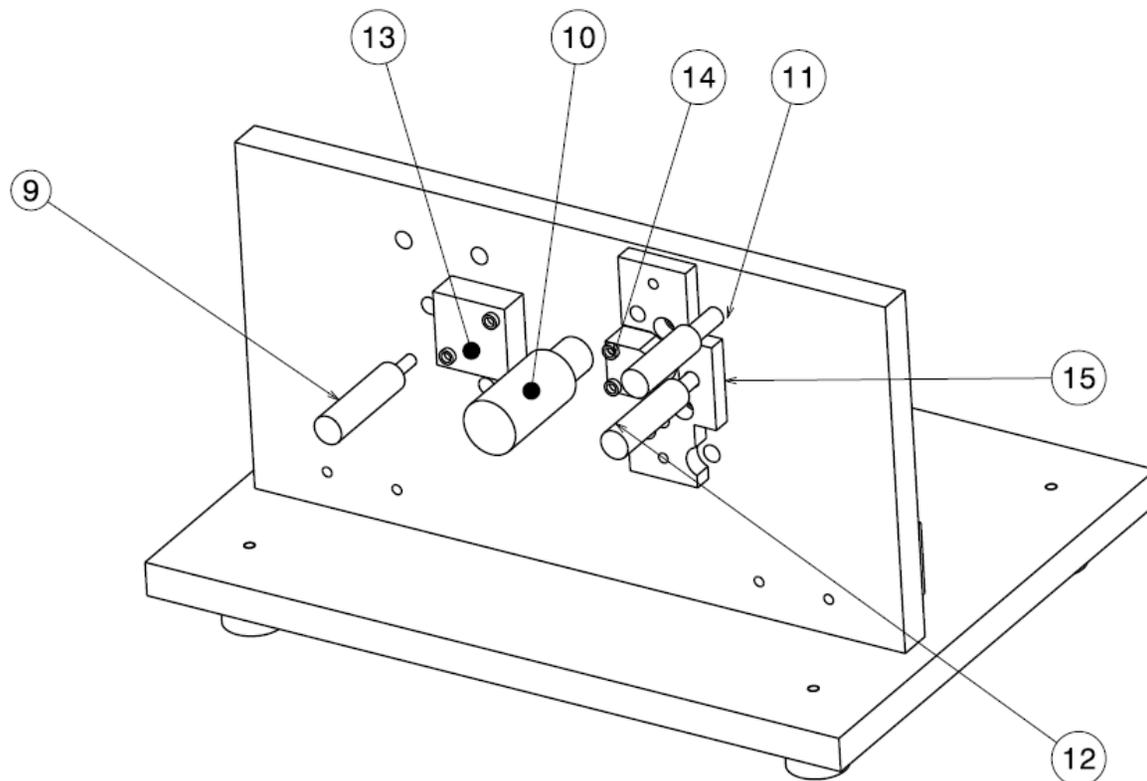


ISOMETRICO 1 DEL DISPOSITIVO

Isometric view  
Scale: 1:1

Samples to be approved before production quantities are made		Name: Explosivo Dispositivo
Name	Date	Units: MM
Eli Josefat Ruiz Olmos	11/01/11	Isometric No. 1 REV. A

CATIA V5R19

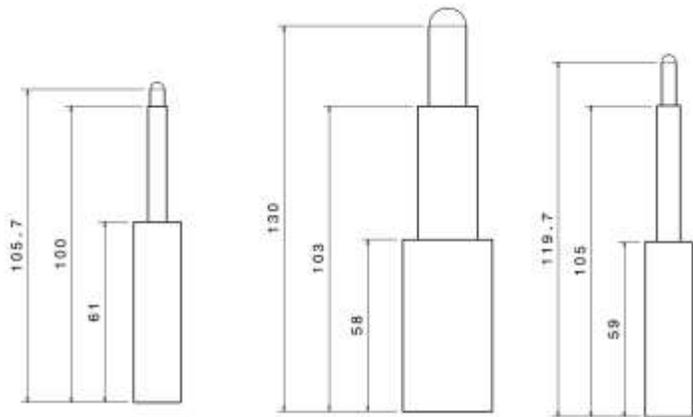


- 9-LOCALIZADOR 1
- 10-LOCALIZADOR 2
- 11-LOCALIZADOR 3
- 12-LOCALIZADOR 4
- 13-PART11 C
- 14-PART11 B
- 15-TACON

Isometric view  
Scale: 1:3

Samples to be approved before production quantities are made		Name: Explosivo Dispositivo
Name	Date	Units: MM
Eli Josafat Ruiz Olmos	11/01/11	Isometric No. 2 REV. A

CATIA V5R19



Vista Superior  
Localizador 1

Vista Superior  
Localizador 2

Vista Superior  
Localizador 4



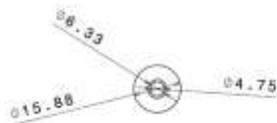
Isoétrico  
Localizador 1



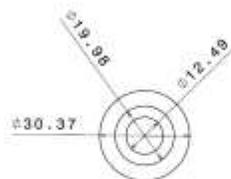
Isoétrico  
Localizador 2



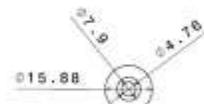
Isoétrico  
Localizador 4



Vista Frontal  
Localizador 1

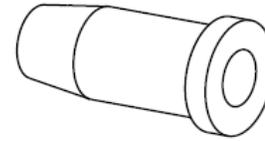
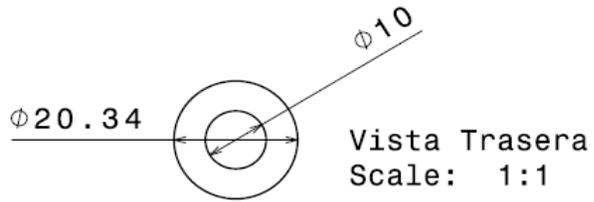


Vista Frontal  
Localizador 2

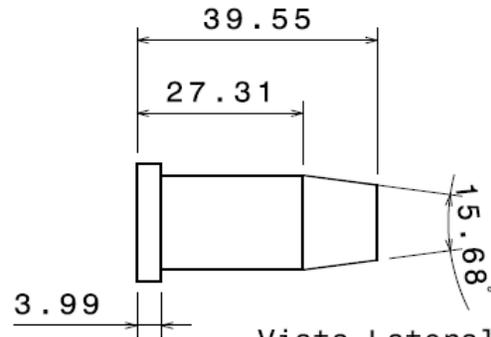
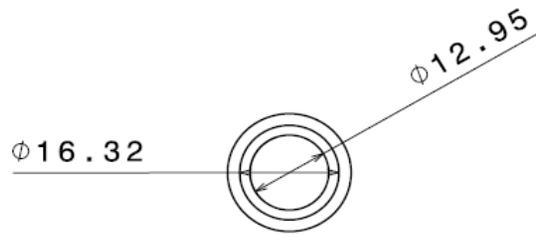


Vista Frontal  
Localizador 4

Samples to be approved before production quantities are made		Name: Localizadores 1,2,4
Name	Date	Units: MM
Eli Josafat Ruiz Olmos	11/01/11	Drawing No. 1 REV. A



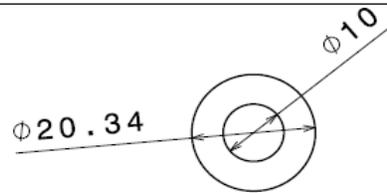
Isometric view  
Scale: 1:1



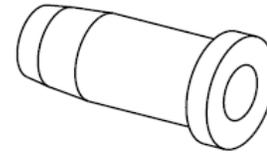
Vista Lateral  
Scale: 1:1

Samples to be approved before production quantities are made		Name: Datum C
Name	Date	Units: MM
Elí Josafat Ruíz Olmos	11/01/11	Drawing No. 2 REV. A

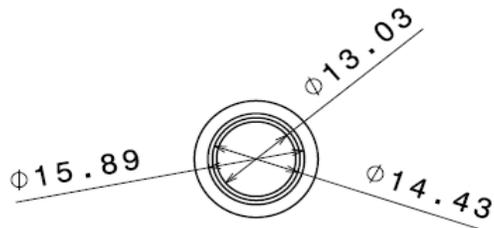
CATIA V5R19



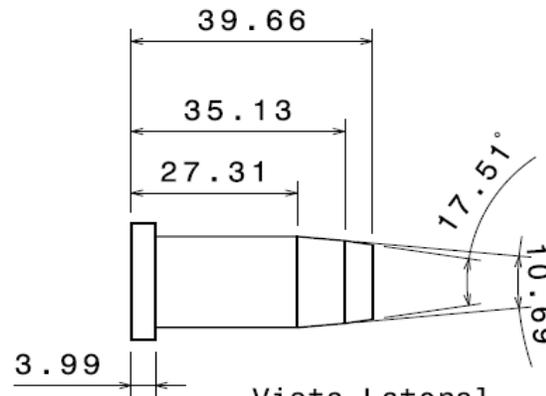
Vista Trasera  
Scale: 1:1



Isometrico  
Scale: 1:1

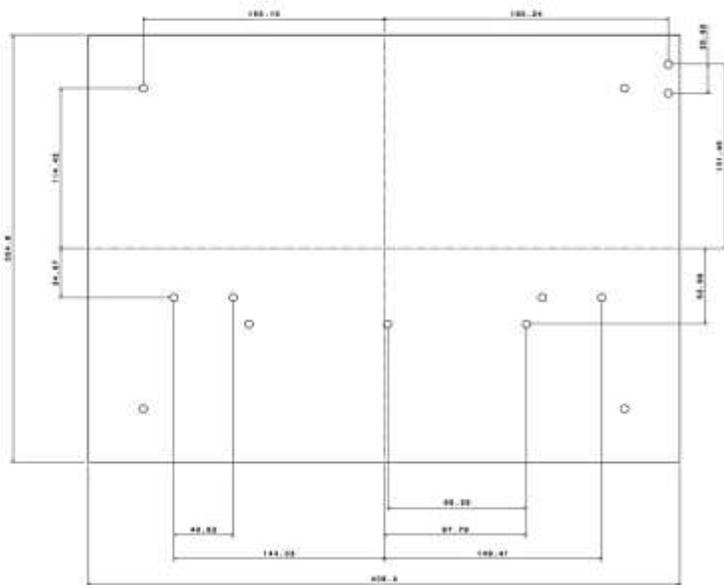


Vista Frontal  
Scale: 1:1

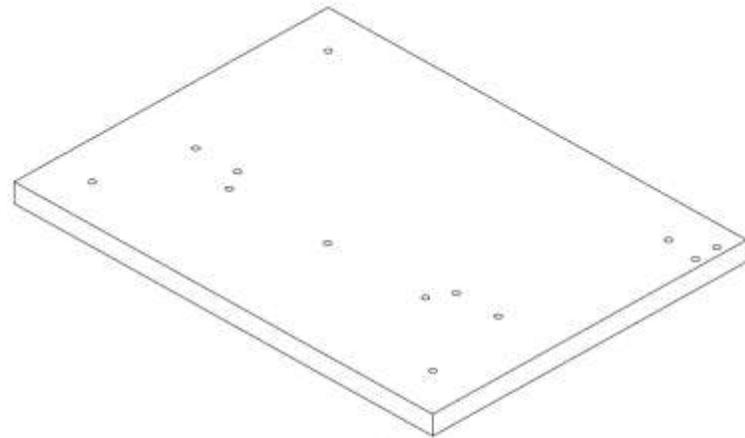


Vista Lateral  
Scale: 1:1

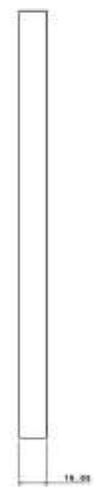
Samples to be approved before production quantities are made		Name: Datum B
Name	Date	Units: MM
Elí Josafat Ruíz Olmos	11/01/11	Drawing No. 3 REV. A



FRONT VIEW  
Scale: 1:1

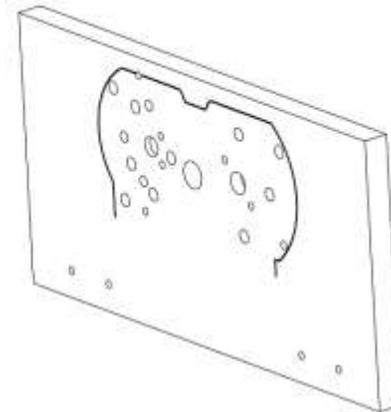
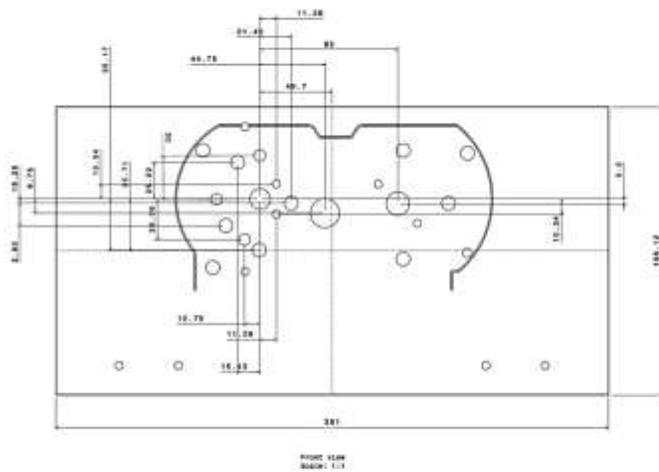


ISOMETRIC VIEW  
Scale: 1:1

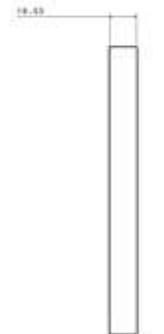


SIDE VIEW  
Scale: 1:1

Drawing to be approved before production quantities are made		Name: Alex Supervisor
Date	Date	DATE: 08
ALL JOINTS MUST BE MADE	STURDY	Drawing No. 4 REV. A
DATE: 08		



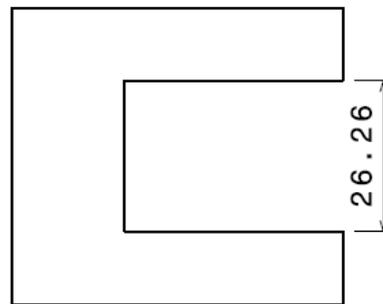
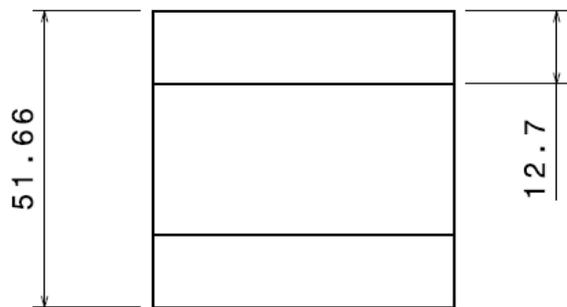
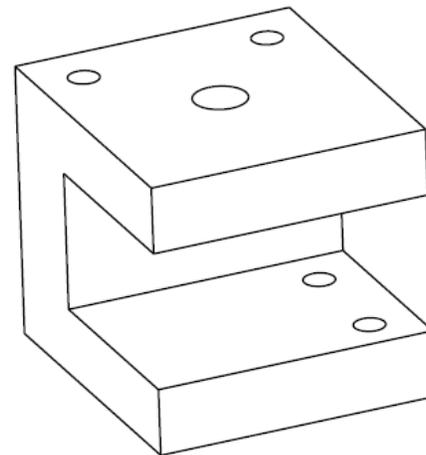
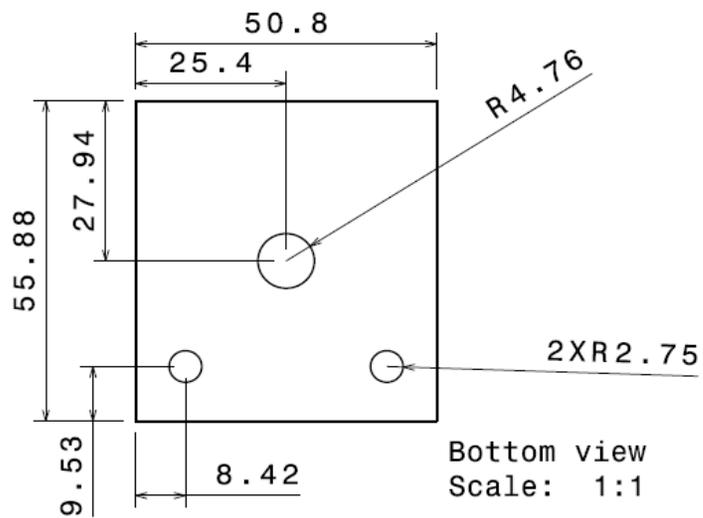
ISOMETRIC VIEW  
Scale: 1:1



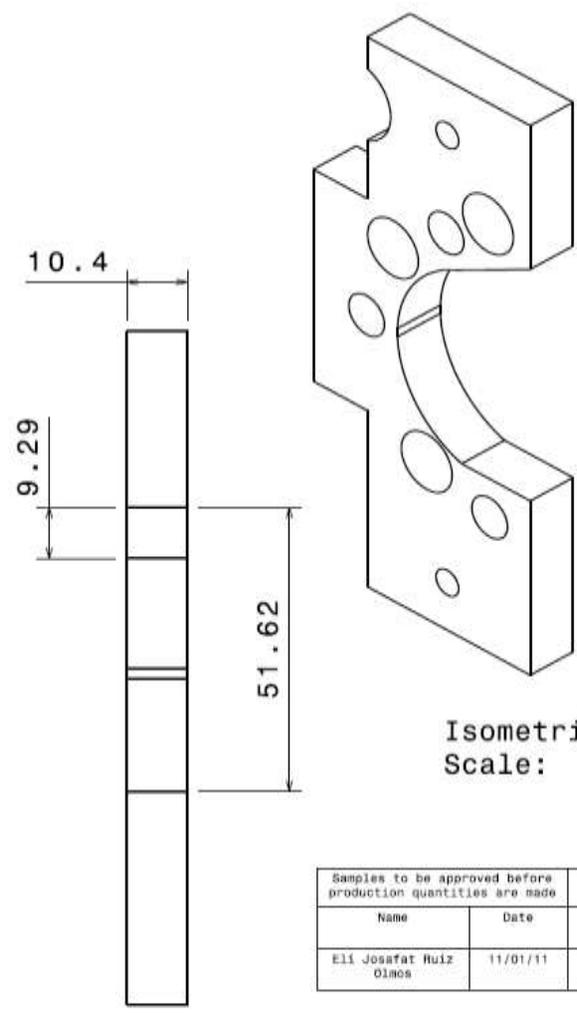
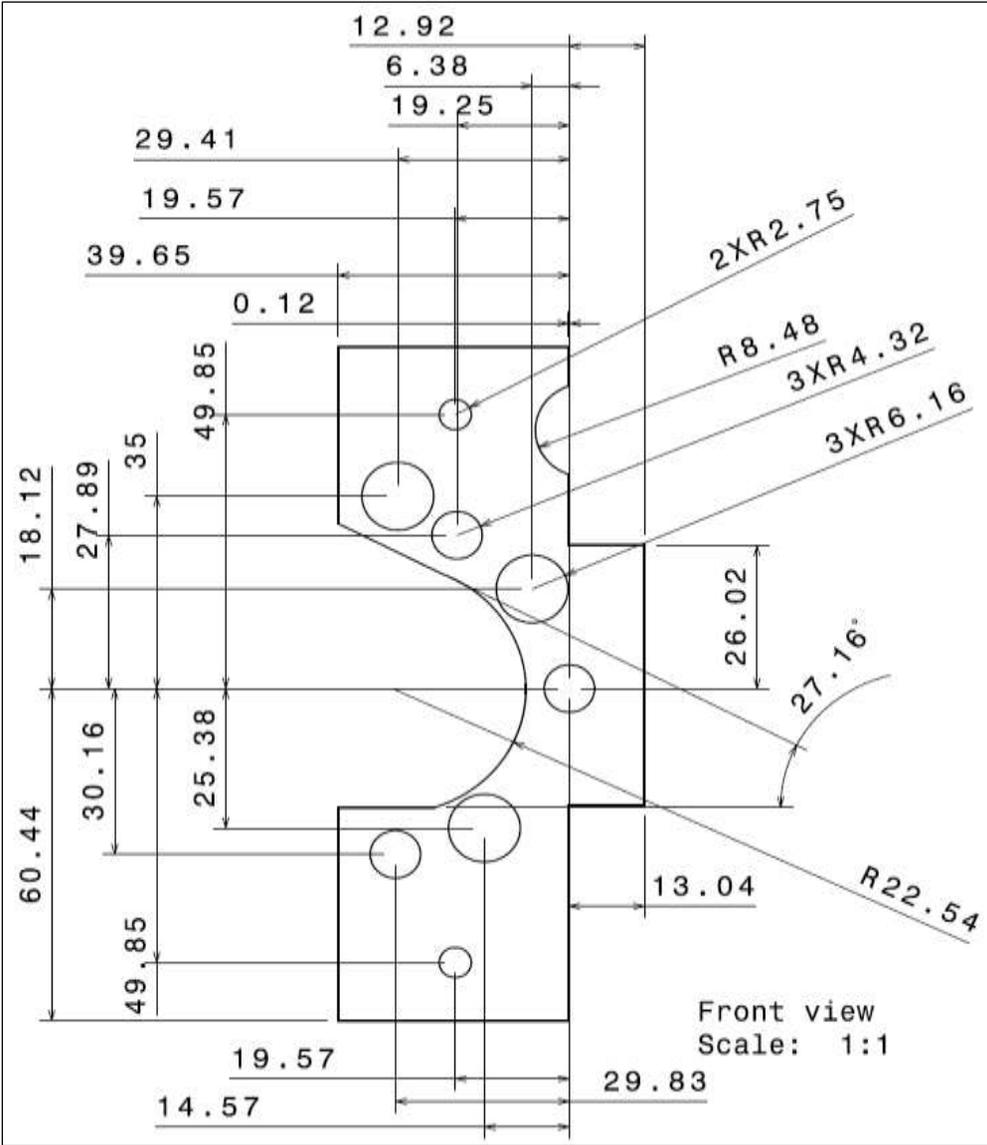
LEFT VIEW  
Scale: 1:1

Approved for approval		Name: Naveen K	
Customer PRODUCTION SUPERVISOR		Date: 11/07/11	
Name	Date	Drawn: ME	Drinking No: 2
SAI JOSEPH NALLI	11/07/11	REV: 2	
Checked			

GATEX VER-02



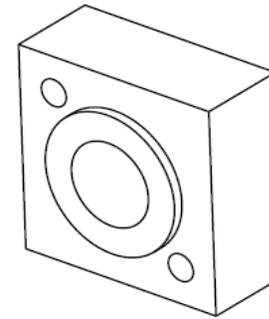
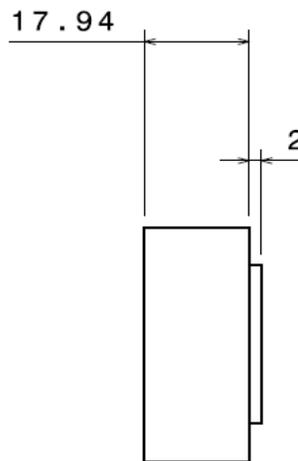
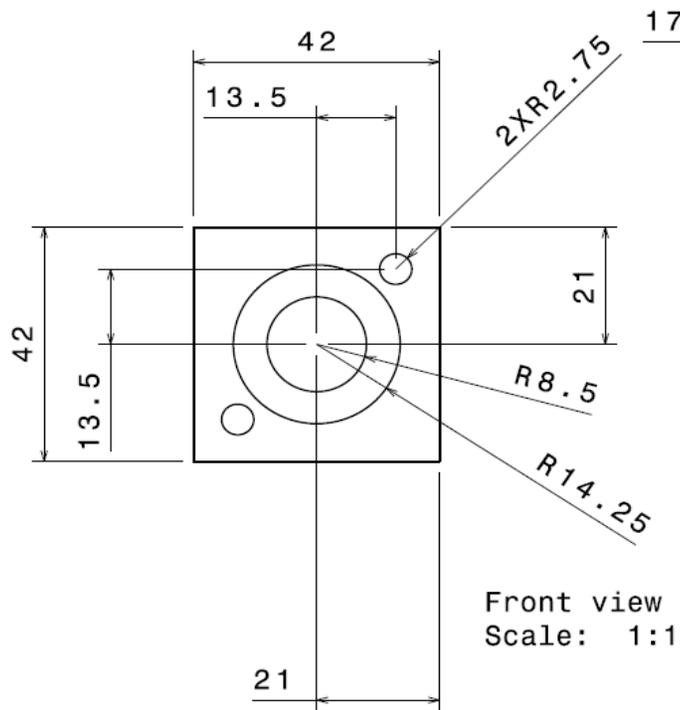
Samples to be approved before production quantities are made		Name: SET
Name	Date	Units: MM
Elí Josafat Ruíz Olmos	11/01/11	Drawing No. 6 REV. A



Samples to be approved before production quantities are made		Name: TACON
Name	Date	Units: MM
Eli Josafat Ruiz Olmos	11/01/11	Drawing No. 7 REV. A

GATIA VBR19

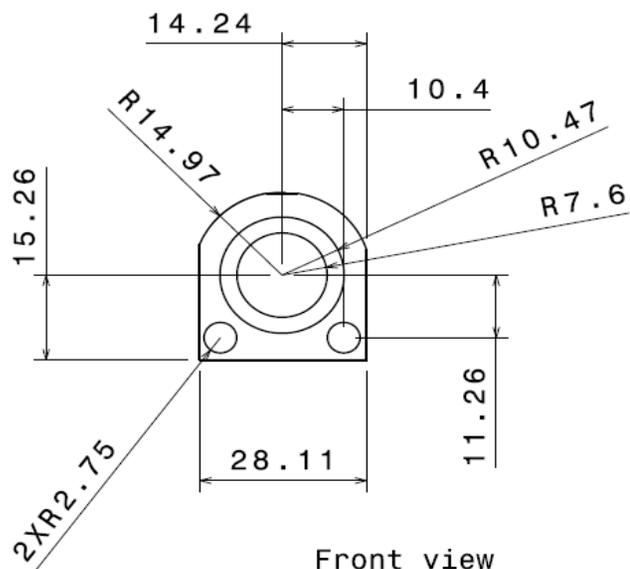
Left view  
Scale: 1:1



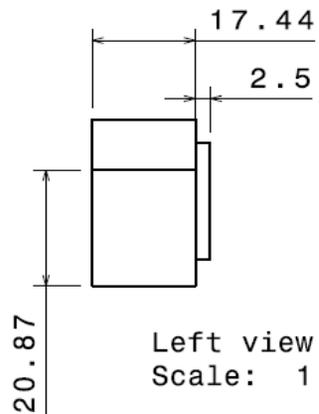
Isometric view  
Scale: 1:1

Samples to be approved before production quantities are made		Name: Base Clamp C
Name	Date	Units: MM
Elí Josafat Ruíz Olmos	11/01/11	Drawing No. 8 REV. A

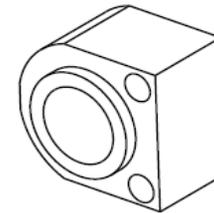
CATIA V5R19



Front view  
Scale: 1:1



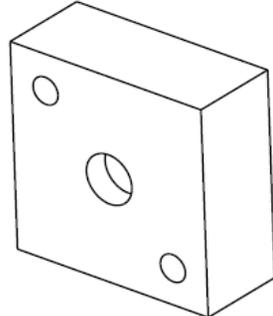
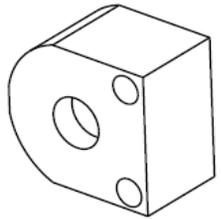
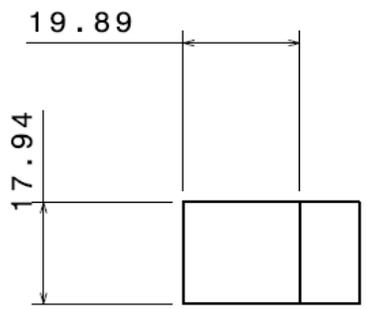
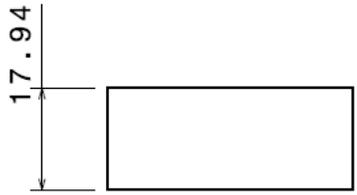
Left view  
Scale: 1:1



Isometric view  
Scale: 1:1

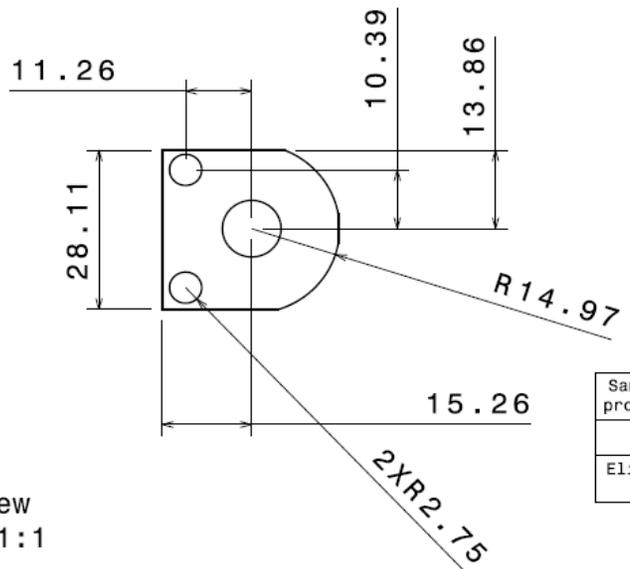
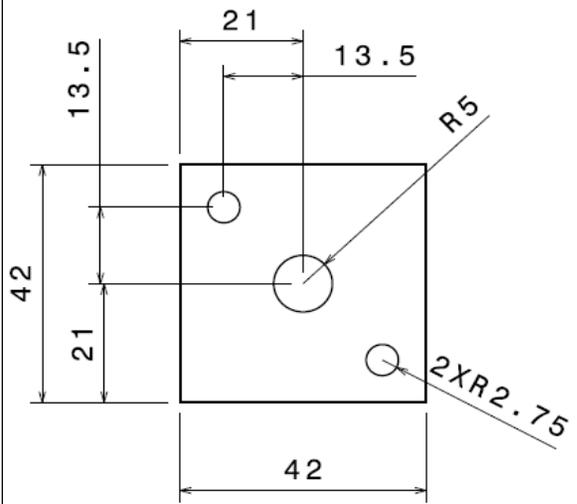
Samples to be approved before production quantities are made		Name: Base Clamp B
Name	Date	Units: MM
Elí Josafat Ruíz Olmos	11/01/11	Drawing No. 9 REV. A

CATIA V5R19



Bottom view  
Scale: 1:1

Isometric view  
Scale: 1:1

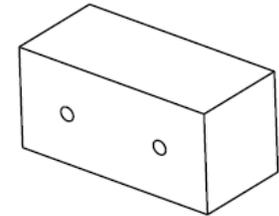
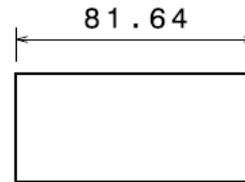
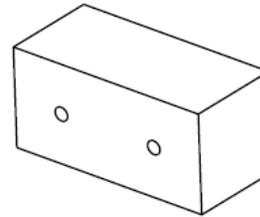


Front view  
Scale: 1:1

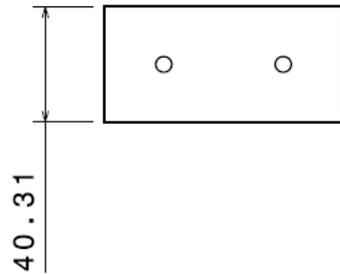
Samples to be approved before production quantities are made		Name: Part11 B y C
Name	Date	Units: MM
Eli Josafat Ruiz Olmos	11/01/11	Drawing No. 10 REV. A



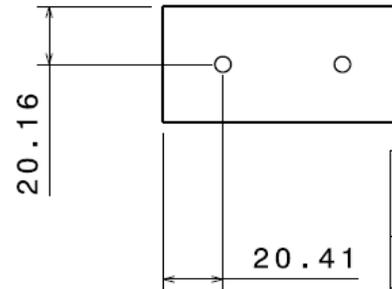
Bottom view  
Scale: 1:1



Isometric view  
Scale: 1:1



Front view  
Scale: 1:1



NOTA: PIEZAS SOLO  
PARA SOPORTE DE DISPOSITIVO,  
A CONSIDERAR.

Samples to be approved before production quantities are made		Name: Part7
Name	Date	Units: MM
Elí Josafat Ruiz Olmos	11/01/11	Drawing No. 11 REV. A

CATIA V5R19

