

308917



UNIVERSIDAD PANAMERICANA
ESCUELA DE INGENIERÍA

Con estudios incorporados a la
Universidad Nacional Autónoma de México

**DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA LA INSPECCIÓN FINAL DE UN MÚLTIPLE
DE ESCAPE TUBULAR PARA AUTOMÓVIL**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
AREA: INGENIERÍA MECÁNICA**

PRESENTA

**GABRIEL AGUIRRE OLLINGER
DIRECTOR: DR. PIOTR RUSEK PIELA**

MÉXICO D.F.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mis padres, que me enseñaron a amar a Dios y a los demás por Dios.

A Luis y a Irene, que siempre están cerca.

Agradezco a Hugo, Tato y Sergio su valioso apoyo técnico.

INDICE GENERAL

1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.....	1
1.1. Antecedentes del proyecto....	1
1.2. El control total de la calidad en la industria.....	1
1.3. La inspección y pruebas de calidad para la aceptación de los productos.....	2
1.4. Descripción del producto a inspeccionar.....	4
1.4.1. Descripción básica.....	4
1.4.2. El múltiple de escape en el vehículo automotor.....	5
1.4.3. Componentes del múltiple de escape.....	5
1.5. Empleo de medios de prueba como parte del sistema de gestión de calidad moderno.....	10
1.5.1. Importancia de los sistemas de gestión de calidad.....	10
1.5.2. Las normas de la serie ISO 9000.....	11
1.5.3. El control de medios de prueba en las normas ISO 9000.....	12
1.6. Medios de prueba en la industria de sistemas de escape automotriz.....	13
1.6.1. Características de los componentes de los sistemas de escape desde el punto de vista de su precisión dimensional.....	13
1.6.2. Uso de patrones de inspección en la industria de sistemas de escape automotriz.....	15
1.7. Norma sobre patrones de inspección establecida por el cliente...	16
1.7.1. Sobre los dibujos de la parte y la intención de diseño.....	16
1.7.2. Intención de diseño del múltiple de escape en estudio: características dimensionales.....	18
2. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO.....	19
2.1. Dibujos de ingeniería del producto.....	19
2.1.1. Sistema de coordenadas del múltiple de escape.....	19
2.1.2. Tabla de coordenadas del múltiple.....	22
2.1.3. Vistas principales y auxiliares del múltiple.....	25
2.1.4. Especificaciones adicionales del dibujo. Tolerancias geométricas.....	33

2.2. Requisitos de inspección de las piezas terminadas.....	36
3. REQUISITOS DE DISEÑO DEL DISPOSITIVO.....	39
3.1. Procedimiento de solicitud y aprobación del diseño del dispositivo.....	39
3.2. Definición de las características a inspeccionar: tolerancias geométricas del producto.....	40
3.2.1. Características dato del múltiple.....	42
3.2.2. Posición de los barrenos de la brida doble (Prueba 1).....	42
3.2.3. Posición de los bujes M6 x 1 (Prueba 2).....	45
3.2.4. Posición de los ejes de las ramas 1 a 4 (Prueba 4).....	48
3.2.5. Posición del ducto de salida del múltiple, eje J-K (Prueba 5).....	49
3.2.6. Posición de los barrenos de la brida triangular (Prueba 7).....	51
3.2.7. Posición del buje roscado M18 x 1.5 (Prueba 3).....	53
3.2.8. Longitud total del múltiple de escape (Prueba 7).....	54
3.3. Requisitos adicionales de diseño del dispositivo: diversas necesidades de los clientes.....	55
4. MÉTODO PARA EL DISEÑO DEL DISPOSITIVO.....	63
4.1. Necesidad de un procedimiento sistemático para el diseño.....	63
4.2. Planteamiento del método de diseño.....	65
5. ELABORACIÓN DEL DISEÑO DEL DISPOSITIVO (PARTE I).....	71
5.1. Identificación de las necesidades de los clientes.....	71
5.2. Objetivos del proyecto.....	71
5.3. Funciones del dispositivo de inspección.....	75
5.4. Especificaciones del dispositivo de inspección.....	77
6. ELABORACIÓN DEL DISEÑO DEL DISPOSITIVO (PARTE II).....	84
6.1. Técnicas empleadas en el modelamiento del dispositivo.....	84
6.1.1. Diseño modular del dispositivo.....	84
6.1.2. Modelado tridimensional.....	85
6.2. Exposición del diseño: método a seguir.....	89

6.3. Exposición completa del diseño del dispositivo para inspección del múltiple de escape.....	96
A. Dispositivo de fijación e inspección de la brida doble (Prueba 1).....	96
B.1.1. Módulo de inspección del buje M6x1 izquierdo (Prueba 2)	
B.1.2. Módulo de inspección del buje M6x1 derecho (Prueba 2).....	102
B.1.3. Módulo de inspección del buje M18x1.5 (Prueba 3).....	115
B.2.1. Módulo de inspección de la rama 1 (Prueba 4)	
B.2.2. Módulo de inspección de la rama 4 (Prueba 4)	
B.2.3. Módulo de inspección de las ramas 2 y 3 (Prueba 4).....	117
B.3. Módulo de inspección de brida triangular (Pruebas 5, 6 y 7).....	128
C. Base del dispositivo.....	140
D. Circuito neumático para accionar mecanismos.....	142
E. Circuito eléctrico para generar señal de aceptación o rechazo.....	149
6.4. Diagrama del ensamble completo del dispositivo de inspección.....	151
6.5 Instrucciones de operación del dispositivo de inspección.....	151
7. CONCLUSIONES.....	155
APÉNDICE A. Algunos conceptos sobre tolerancias geométricas.....	A.1
APÉNDICE B. Estudio de repetibilidad y reproducibilidad (R y R) para el dispositivo de inspección.....	B.1
BIBLIOGRAFÍA.....	C.1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.

1.1. Antecedentes del proyecto.

El objetivo de este proyecto es diseñar un dispositivo para la inspección final de las dimensiones de un componente automotriz. Este trabajo recoge parte de mi experiencia en el área de diseño de herramientas de Auto Can, S.A de C.V. La compañía, que inició operaciones en 1993 en el estado de Puebla, fabrica y suministra partes del sistema de escape automotriz a productores como Volkswagen de México, Chrysler de México y BMW.

Entre los productos que tuvimos que desarrollar en esa compañía, estuvo un múltiple de escape tubular para un nuevo automóvil que nuestro cliente lanzó al mercado. El diseño original del producto fue proporcionado por el cliente; a nosotros nos correspondió planear el proceso de producción, y desarrollar parte de los herramientas y dispositivos para fabricar el múltiple. Un encargo concreto que tuve en el proyecto fue diseñar y supervisar la construcción del dispositivo para inspección del producto terminado. El encargo fue llevado a término, y el dispositivo fue utilizado en producción con resultados satisfactorios. Pero quedaron también patentes algunas limitaciones del diseño, que se debieron en parte a no haber tenido experiencia previa con dispositivos de ese tipo, y al tiempo relativamente corto de que dispusimos para el diseño, construcción y pruebas del aparato (alrededor de treinta días, con otras actividades en paralelo).

Esta tesis tiene como finalidad desarrollar un mejor diseño de ese dispositivo, que resulte más fácil de operar, y capaz de inspeccionar volúmenes de producción más altos. Para conseguirlo me apoyaré desde luego en la experiencia sacada del primer diseño.

1.2. El control total de la calidad en la industria.

El tema de fondo en este proyecto es cómo garantizar la calidad del producto, y cómo lograrlo dentro de un sistema de gestión de calidad tan estricto como lo es el de un productor de automóviles. Detengámonos brevemente en el concepto que está detrás de ese sistema: el control total de la calidad.

Hoy en día, los planes y la vida cotidiana de las personas dependen en gran parte del funcionamiento satisfactorio de productos y servicios. Para entenderlo podemos recurrir a muchos ejemplos; pensemos en las consecuencias que puede tener para una persona o para una empresa la falla en los frenos de un automóvil, la interrupción del suministro de energía eléctrica durante varias horas, o un defecto en el disco duro de una computadora. Ante los defectos de calidad generalmente resulta difícil encontrar alternativas para obtener el resultado deseado, y en muchos casos el daño puede resultar irreparable — como puede ocurrir en el caso de los frenos deficientes. En los últimos años, a la par que ha

aumentado la dependencia de la sociedad hacia productos y servicios, también han crecido enormemente las demandas y expectativas de los clientes en cuanto a la calidad de lo que adquieren y usan.

Tratándose de productos manufacturados, es cierto que la mayoría de las piezas con fallas de calidad son descubiertas en la planta y no llegan a ser embarcadas. Pero con frecuencia, las técnicas que se emplean para localizar las fallas resultan costosas y provocan pérdidas. Además, en algunos casos, los productos que pueden fallar algún tiempo después de haber entrado en servicio, no son siempre detectados en la planta. Estas condiciones no pueden ser toleradas por ninguna industria que luche por mantener y mejorar su posición competitiva.

La meta de la industria competitiva, respecto a la calidad del producto, se puede expresar como proporcionar un producto o servicio en el cual su calidad haya sido diseñada, producida y conservada, a un costo económico, y que satisfaga por entero al consumidor. Este concepto va más allá de la simple detección de defectos: se trata de poner calidad en todas las actividades de la empresa productora de bienes o servicios. El sistema que comprende todas las actividades de la compañía que se ha planteado esa meta, se conoce como control total de la calidad, y puede ser definido, de acuerdo con Armand V. Feigenbaum, como

"un sistema efectivo de los esfuerzos de varios grupos en una organización, para la integración del desarrollo, del mantenimiento y de la superación de la calidad, con el fin de hacer posibles mercadotecnia, ingeniería, fabricación y servicio, a satisfacción total del consumidor y al nivel más económico."¹

Las actividades de la calidad total deben existir en todas las operaciones del proceso productivo: mercadotecnia, ingeniería de diseño, producción, relaciones industriales, mantenimiento y otras áreas clave. Si antes el énfasis del control de calidad se ponía en la inspección, el tema de hoy es hacer las cosas bien desde la primera vez. En otras palabras, se acentúa la importancia de asegurar la calidad, previniendo los defectos. La responsabilidad de la verificación de la calidad no pesa principalmente sobre la inspección sino sobre quienes intervienen en la producción y entrega de las piezas: gerencia general, ingeniería de diseño, gerencia de producción, supervisores, operarios, ventas, servicio a clientes u otras áreas según el caso

1.3. La inspección y pruebas de calidad para la aceptación de los productos.

Si en la época actual el concepto que prevalece es, como hemos visto, el de producción libre de defectos, ¿cómo se puede justificar la necesidad de invertir en una herramienta de inspección costosa como la que vamos a diseñar? Puesto

¹ Feigenbaum, Armand. "Control Total de Calidad". Compañía Editorial Continental. México, 1988.

que nuestra intención es asegurar la calidad de la producción, ¿no cabría entonces esperar que la función de inspección tienda a volverse innecesaria?

Para responder a esto diremos que el concepto de aseguramiento de la calidad nos lleva a concebir la posibilidad de constituir una compañía ideal, en la que todas las actividades se realizan con un cuidado perfecto de la calidad, costo, plazos de entrega, etc. En una compañía así, los productos se diseñarían especificando correctamente la intención del diseñador; esta intención a su vez expresaría fielmente las expectativas del consumidor, de acuerdo con los datos suministrados por el departamento de mercadotecnia. El departamento de planeación de procesos diseñaría procesos capaces de cumplir con las especificaciones, y el personal de producción sería capaz de realizar y mantener los procesos en forma tal, que permitieran siempre obtener productos conformes con las especificaciones y, por tanto, con la intención del diseño.

Pero en la práctica, ninguna de estas actividades es realizada a la perfección — existen siempre, en mayor o menor grado, deficiencias en todas las etapas del proceso productivo, incluyendo desde luego el diseño, la especificación, la planeación de procesos y la producción como tal. Además, suelen haber deficiencias de coordinación entre una actividad y otra. Como resultado, siempre existe, en la producción, algún grado de inconformidad con las especificaciones y, por tanto, algún grado de demérito en el producto (lo que no forzosamente significa un producto inútil para el uso).

Una buena política de calidad dentro de la empresa, buscará hacer que los niveles de inconformidad o demérito dentro la actividad productiva tiendan a cero, y buscará a la vez asegurar que solamente productos libres de defectos sean entregados al cliente. Pero en la medida en que sigan existiendo defectos en cualquiera de las actividades relacionadas con la producción, o exista al menos el riesgo de que ocurran defectos, serán necesarias algunas funciones de inspección. El concepto de aseguramiento de la calidad no busca eliminar por completo la función de inspección y pruebas, pero sí el mantenerla dentro de límites aceptables —con atención especial a los costos de calidad—, y a la vez servirse de ella como herramienta para la mejora continua en calidad.

Toda inspección o prueba involucra en alguna forma la evaluación del producto, la comparación de ésta contra alguna norma, y la decisión sobre si hay conformidad entre el producto y la especificación, es decir, la decisión de aceptación. Cuando se trata de decidir sobre la aceptación o rechazo de un lote de productos, es necesario establecer qué cantidad de inspección es necesaria para poder tomar la decisión. Esta cantidad depende principalmente del conocimiento previo que se tenga sobre la calidad y, en especial, la homogeneidad del lote.

En el caso que nos ocupa, estamos hablando de un producto —componente del sistema de escape automotriz— que es, por naturaleza, de una homogeneidad relativamente baja, al menos si se le compara con otros componentes de los vehículos automotores. La razón es que el nivel de tecnología de los procesos en

la industria de sistemas de escape, en su estado actual, es limitadamente capaz de garantizar la suficiente homogeneidad de las piezas producidas, como para que la mayoría de ellas queden dentro de la especificación dimensional que exigen los clientes. Esta condición, que es conocida de sobra por los productores de automóviles, significa que hay siempre una probabilidad considerable de obtener piezas defectuosas en la producción de sistemas de escape, lo cual no se debe necesariamente a errores o deficiencias en la producción con respecto a lo planeado, sino a limitaciones en el "estado del arte" de esa industria.

El resultado es que los productores de automóviles normalmente ponen como requisito, en cualquier proyecto de suministro de componentes del escape automotriz, que el proveedor cuente con un dispositivo para inspeccionar las piezas terminadas antes de su embarque, y normalmente la cantidad de inspección que especifican es del 100% de las piezas al inicio de la producción. Posteriormente se podrán autorizar reducciones en la cantidad inspeccionada, en la medida en que quede demostrado un determinado nivel de homogeneidad en el producto. Esa es en resumen la justificación del proyecto que vamos a realizar.

Procederemos ahora a familiarizarnos con el producto que fue objeto del proyecto, y posteriormente vamos a situar la necesidad del dispositivo de inspección dentro del sistema de gestión de la calidad, tanto a nivel de industria como en el caso particular de nuestro cliente.

1.4. Descripción del producto a inspeccionar.

1.4.1. Descripción básica.

Nombre del producto. "Múltiple de escape tubular para motor 2.0L DOHC (motor de 2.0 litros de cilindrada con doble árbol de levas)". A lo largo de la exposición nos referiremos al producto como "Múltiple de escape" o, simplemente, "Múltiple".

Descripción. El múltiple de escape es el primer componente del sistema de escape (llamado también sistema de emisiones) automotriz. Este sistema tiene como función controlar las emisiones generadas por el motor durante su funcionamiento. Estas son de dos clases:

- Gases producto de la combustión.
- Ruido.

Las emisiones del motor son por naturaleza nocivas. Es función del sistema de escape reducir sus efectos a niveles que puedan ser considerados aceptables.

El múltiple de escape va acoplado a la llamada cabeza de cilindros del motor, y constituye la continuación de los ductos de expulsión que provienen de los cilindros. Los ductos que forman el múltiple (cuatro en este caso) se unen a su vez en un solo ducto, al cual se le acoplará el resto del sistema de escape. El

múltiple puede ser hecho de fundición de hierro o, como ocurre en este diseño, de tubería de acero inoxidable soldada.

1.4.2. El múltiple de escape en el vehículo automotor.

La figura 1.1 muestra en forma esquemática los componentes básicos de un sistema de escape automotriz, incluido el múltiple, y su ubicación dentro del vehículo.

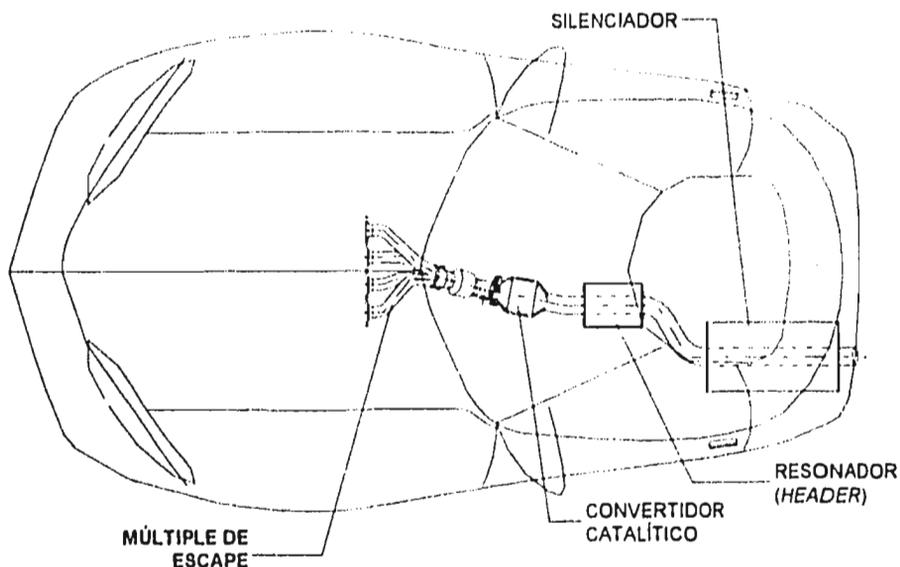


Figura 1.1. Esquema de los componentes de un sistema de escape automotriz

1.4.3. Componentes del múltiple de escape

La figura 1.2 muestra una vista isométrica del múltiple de escape que corresponde a este proyecto. Los elementos de que consta son:

— Brida doble. Material: acero de bajo carbono GB4. Es el elemento por medio del cual se fija el múltiple a la cabeza de cilindros. Esta va dotada de ocho barrenos que se insertan en otros tantos pernos roscados de la cabeza de cilindros. La brida queda fija mediante tuercas. Esta brida está compuesta en realidad de dos bridas simétricas (piezas 1 y 2) unidas por dos puntos de soldadura. El primer diseño del múltiple consideraba una brida de una pieza, pero se acordó esta solución con el cliente en razón de que la brida de una pieza habría requerido, para su fabricación, una fuerza superior a 1000 toneladas en el

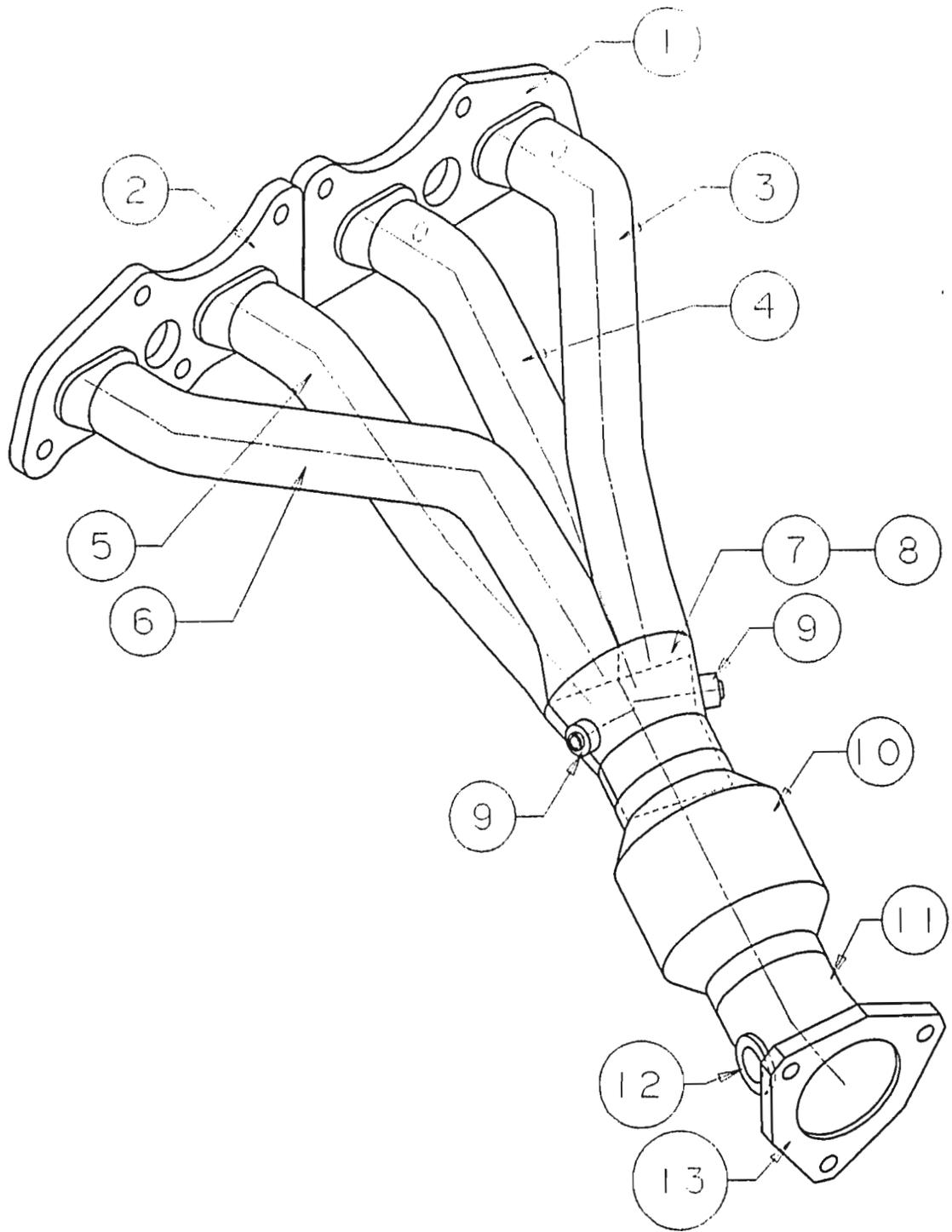


Figura 1.2. Múltiple de escape tubular. Vista isométrica.

proceso de troquelado, y no se disponía de una prensa de esta capacidad. Los agujeros correspondientes a los ductos de escape son de forma oval (figura 1.3, página siguiente), y coinciden con los ductos respectivos de la cabeza de cilindros.

— Tubos de escape o ramas (3, 4, 5, 6). Material: acero inoxidable AISI 321, tubo de 38 x 1.5 mm. Forman los cuatro ductos o vías que posteriormente se unirán en uno solo. Por el lado de la brida doble sus extremos terminan en una forma oval que se acopla a los orificios respectivos de la brida. Van soldados a la brida en la forma que se muestra en la figura 1.4, por el método GMAW (de Gas-Metal Arc Welding: soldadura de metal por arco eléctrico, con gas inerte). Las cuatro ramas se unen por el otro extremo formando una circunferencia de cuatro sectores.

— Cono colector. Material: acero inoxidable AISI 321, lámina de 1.5 mm. Es la pieza a la que se unen las cuatro ramas. Consta de dos mitades troqueladas (7), con una lámina divisoria intermedia (8).

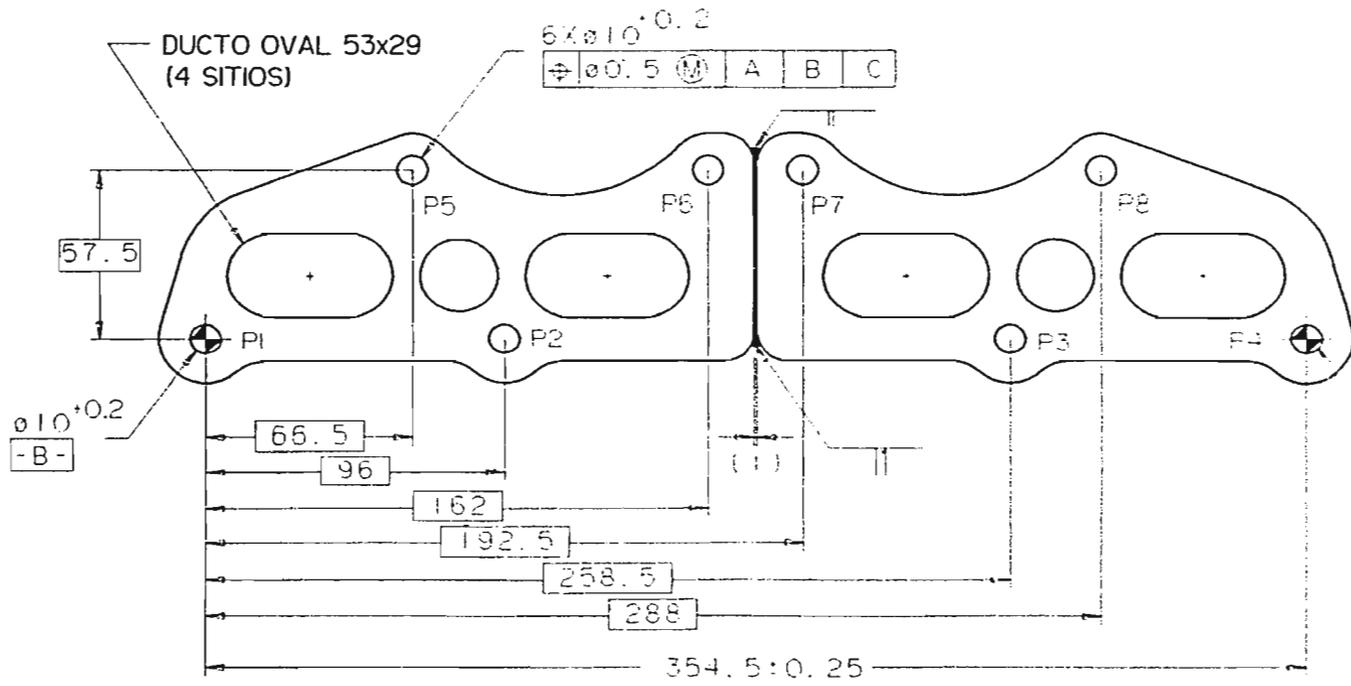
— Bujes roscados M6 x 1 (9). Material: acero inoxidable AISI 321. Estos bujes, soldados a ambos lados del colector, sirven para fijar al múltiple dos tolvas aislantes de calor. Estas tolvas sirven para proteger otras partes del motor del calor que se genera en el múltiple durante la marcha del motor.

— Cabeza flexible (10). Constituye un acoplamiento flexible que tiene por objeto absorber una parte de las cargas a que se ve sometido el sistema de escape, a causa de las vibraciones de motor. La cabeza flexible empleada en este caso soporta cargas de tracción, compresión, torsión y flexión, y es de uso común en los sistemas de escapa para automóviles de tracción delantera. Una vista seccional de esta cabeza se muestra en la figura 1.5.

— Tubo acodado (11). Material: acero inoxidable AISI 321, tubo DIN 2463 60 x 2 mm D3-T3. Forma la última porción del ducto de salida del múltiple. Lleva soldado el buje roscado del sensor de oxígeno (12), que se muestra en la figura 1.6. Este buje, fabricado también en AISI 321, con rosca interna M18 X 1.5, sirve para acoplar el sensor que detecta el contenido de oxígeno molecular en los gases producto de la combustión. Esta medición es convertida, por medio de un transductor, a una señal eléctrica, y es enviada al microprocesador que controla la inyección de combustible. Se debe garantizar un contenido mínimo de oxígeno en los gases de escape para producir las reacciones químicas en el convertidor catalítico. Por medio de ellas los productos tóxicos de la combustión —monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados y óxidos de nitrógeno— se transforman en compuestos no dañinos —bióxido de carbono, vapor de agua y nitrógeno molecular—.

— Brida triangular (13): figura 1.7. Material: acero de bajo carbono GB4. Va soldada al extremo final del tubo acodado, y sirve para acoplar al múltiple el siguiente elemento del sistema de escape, que es el convertidor catalítico. El acoplamiento se hace mediante tornillos con tuercas de seguridad.

Figura 1.3. Brida doble del múltiple de escape



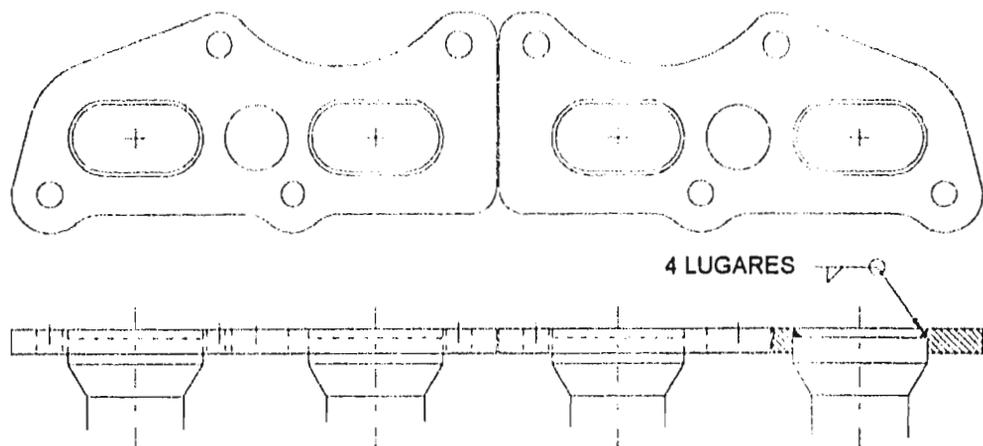


Figura 1.4. Uniones soldadas de las ramas con la brida doble

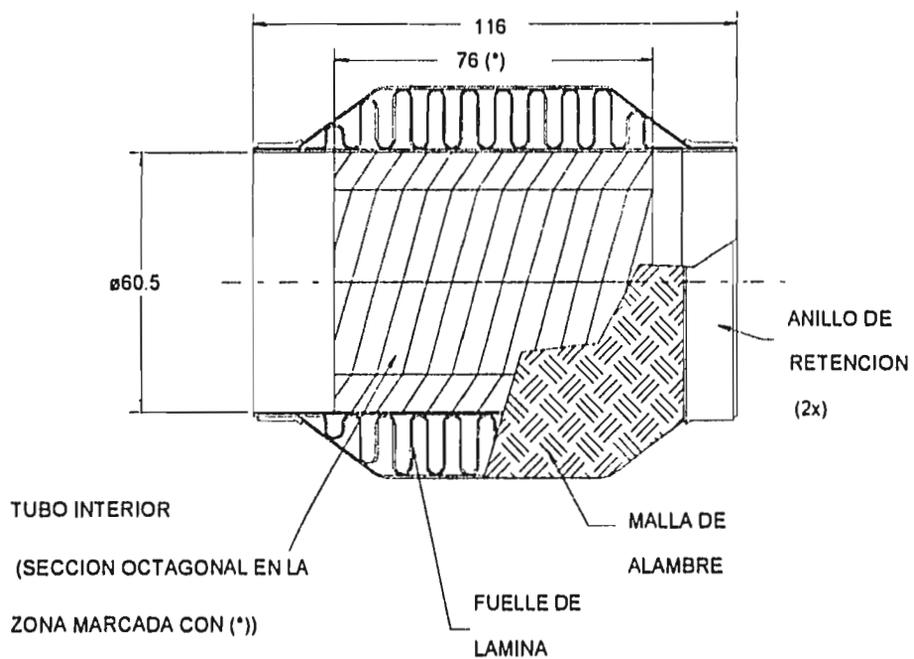


Figura 1.5. Cabeza flexible

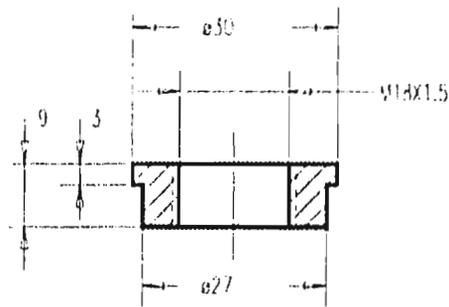


Figura 1.6. Buje roscado del sensor de oxígeno

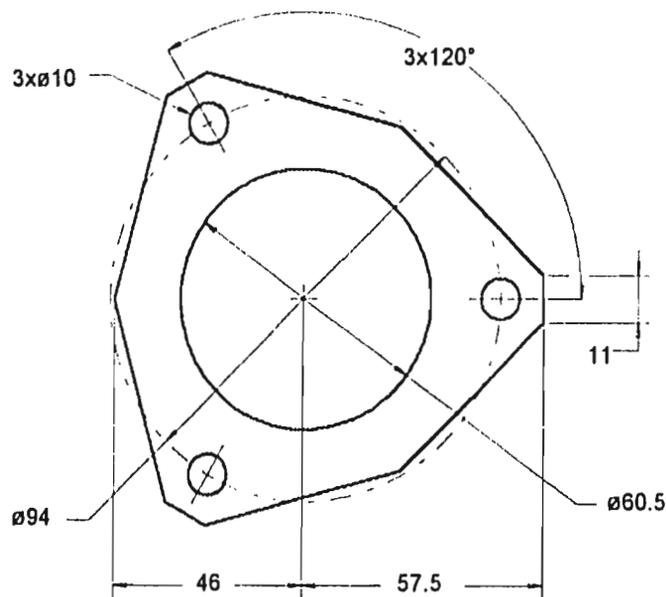


Figura 1.7 Brida triangular

1.5. Empleo de medios de prueba como parte del sistema de gestión de calidad moderno.

1.5.1. Importancia de los sistemas de gestión de calidad.

En la actualidad, todo proveedor de la industria automotriz debe poseer un sistema de gestión de calidad confiable. Para que una empresa productora de vehículos pueda tomar la decisión de aceptar a un proveedor, para que suministre un determinado componente, el proveedor deberá ser evaluado positivamente en su sistema de gestión de calidad. En cualquier proyecto que

realice un proveedor para suministrar un nuevo producto, una parte importante la constituirá el desarrollo de los medios de aseguramiento de la calidad de ese producto. Examinaremos ahora en qué normas se fundamenta la necesidad de contar con un dispositivo de inspección dimensional para el producto que hemos descrito.

Es práctica común en la industria automotriz evaluar la capacidad de calidad de sus proveedores mediante auditorías de sistema de calidad, proceso y métodos. Mediante ellas es posible valorar **“la dirección empresarial, las circunstancias y estructuras organizativas, la técnica de fabricación y de los desarrollos de proceso y métodos desde la Ingeniería, la planificación, la producción y entrega de productos en cada una de las plantas de producción de los proveedores”**². Cada fabricante de automóviles en Europa y Norteamérica ha desarrollado sus propias auditorías de los sistemas de gestión de calidad. Sin embargo, prácticamente todos siguen estrechamente los lineamientos de las normas de la serie ISO 9000. El sistema de gestión de calidad propuesto por ISO 9000 constituye hoy en día el paradigma de los sistemas de aseguramiento de la calidad.

1.5.2. Las normas de la serie ISO 9000.

La serie de normas ISO 9000 ha sido adoptada por compañías de varios países, como una herramienta para determinar si sus proveedores poseen y emplean un sistema de calidad tal, que asegure su capacidad para cumplir con los requisitos de productos y servicios exigidos por sus clientes.

Existen cinco normas en esta serie. La norma ISO 9000 proporciona algunas definiciones y conceptos básicos, y explica el modo de seleccionar y utilizar las otras normas de la serie. Las normas ISO 9001, 9002 y 9003 se emplean para fines de aseguramiento externo de la calidad, en situaciones contractuales entre cliente y proveedor. ISO 9001 se emplea para asegurar la conformidad con requisitos especificados, en las etapas de diseño, desarrollo, producción, instalación y servicio; es la norma más completa en cuanto a alcance de los requisitos contractuales. ISO 9002 involucra solamente las etapas de producción e instalación del producto. ISO 9003 es la norma menos detallada, y exige solamente conformidad en las pruebas e inspección finales.

ISO 9004 contiene lineamientos sobre los factores técnicos, administrativos y humanos que afectan a la calidad de los productos y servicios. Esta norma es solamente para uso interno y no se emplea en situaciones contractuales. Sin embargo, en ella están contenidos los elementos que debe poseer un sistema de gestión de calidad, comenzando por las responsabilidades de la dirección general. ISO 9004 sirve como modelo para el diseño de un sistema de calidad completo.

² De “Auditoría de Sistemas de Gestión de Calidad”. VDA, 6a. edición, 1993.

Un auxiliar valioso en la aplicación de la norma ISO 9004 lo constituye el cuestionario de "Auditoría de Sistemas de Gestión de Calidad", elaborado por el grupo de trabajo VDA de la industria automotriz alemana. En él, cada uno de los temas de la ISO 9004 es tratado mediante una serie de preguntas que se formulan al proveedor. Este debe, en cada una de las preguntas, aportar evidencias tanto documentales como *in situ*, que demuestren que se está cumpliendo con los requisitos que pide la pregunta.

1.5.3. El control de medios de prueba en las normas ISO 9000.

El desarrollo y utilización de un dispositivo o patrón de inspección, tema central de este trabajo, se fundamenta, como posible requisito contractual, en la norma ISO 9001, sección 6.12 - "Equipo de Inspección, Medición y Pruebas":

"Para demostrar la conformidad de los productos el proveedor debe identificar, verificar, calibrar y realizar el mantenimiento de los equipos de medición, ya sean propios o ajenos ."

"El proveedor debe (...) asegurar que los equipos de inspección, medición y prueba tengan la exactitud y precisión necesarias."

"Cuando se empleen elementos secundarios de medición, tales como tamices, calibres, plantillas, escantillones, modelos y otros, o algún sensor programado como medio de inspección, se debe comprobar que éstos son aptos para verificar la aceptabilidad del producto antes de que sean utilizados para la producción e instalación. "

Para ahondar un poco más en estos requisitos podemos remitirnos al cuestionario de la VDA a que hemos hecho referencia. En el apartado 12 de éste se formula la siguiente pregunta:

"12.02 ¿Se utilizan medios de control con la suficiente precisión?"

Requisitos: la elección de los medios de prueba depende de la clase de producto y de las características a probar. La precisión de la medición dependerá de la especificación de los productos. Los medios de prueba se elegirán de modo que se puedan determinar las características a probar con una precisión justificable que deberá ser conocida.

En base al tipo de producción y la especificación de producto se puede determinar, con el apoyo de los planes de prueba, cuál es la precisión suficiente que deben tener los medios de prueba a utilizar. Para ello se

tendrán en cuenta las exigencias de calidad y las instrucciones de prueba del cliente."

A la luz de la pregunta anterior debemos investigar ahora qué tipo de medios de prueba son los comúnmente empleados para verificar las dimensiones de los componentes de sistemas de escape. Para responder a eso comenzaremos por enumerar las características que afectan a la precisión dimensional de esta clase de productos.

1.6. Medios de prueba en la industria de sistemas de escape automotriz.

1.6.1. Características de los componentes de los sistemas de escape desde el punto de vista de su precisión dimensional.

a) Los procesos principales que intervienen en la fabricación de estos componentes son:

- Corte, doblado y conformado de tubos de acero inoxidable. Procesos de conformado pueden ser, por ejemplo, la expansión o reducción de diámetro, o el abocinado de los extremos.
- Rolado o embutido de lámina inoxidable, especialmente en la fabricación de convertidores catalíticos y silenciadores.
- Soldadura por arco eléctrico de las partes (procesos MIG [GMAW] y/o TIG).
- Soldadura por resistencia.

b) La precisión de varios de estos procesos, entendida como rango de variación dimensional del producto, no es de las más estrechas. Tomando como ejemplo el proceso de doblado, consideremos que, para tramos de tubo de longitud inferior a 1 m y diámetro máximo de 60 mm, el rango aceptable de desviación entre el eje teórico y el eje real del tubo, suele ser de 1 a 2 mm (figura 1.8). Las causas de la variabilidad dimensional en el proceso de doblado son principalmente dos:

- Recuperación elástica después de aplicar la carga de flexión durante el doblado; este fenómeno se suele denominar *springback*. En la zona más cercana al plano neutro del tubo, el material queda sujeto a deformación elástica, no plástica, de modo que al retirar la fuerza de doblado se produce cierta recuperación elástica o "regreso" del material. Como consecuencia, el ángulo final de doblado resulta algo inferior al ángulo obtenido estando presente la fuerza de doblado.

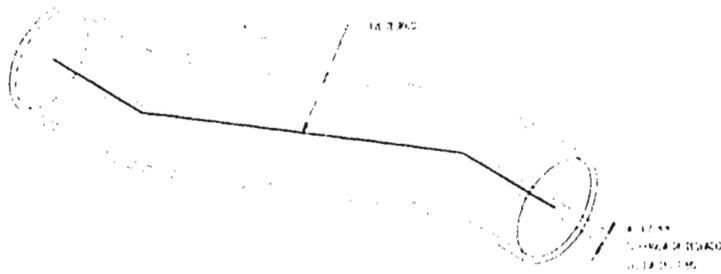


Figura 1.8. Tubo doblado con la zona de tolerancia de desviación del eje

La recuperación elástica es directamente proporcional al espesor de pared del tubo. En el caso de los tubos que se emplean en nuestro producto, la tolerancia en este espesor es de $\pm 7.5\%$ del espesor nominal, conforme a la especificación DIN 2463 D3-T3 para tubos inoxidables con costura. El resultado es que, de un lote a otro de tubo, podemos encontrar diferencias de espesor dentro de ese rango, y a distintos espesores corresponden distintos grados de recuperación elástica. Por lo tanto, al cambiar el lote de tubo, frecuentemente se obtienen dobleces con un ángulo ligeramente distinto de los del lote anterior. Ciertas tolerancias en el ángulo de doblez suelen estar previstas en la especificación del producto. Por eso, los patrones de inspección que se utilizan para probar los tubos se diseñan tomando en cuenta esas tolerancias.

— Desgaste de los herramientas de doblado. Las partes que entran en contacto directo con el tubo se suelen fabricar en bronce para facilitar el deslizamiento del tubo, que es de acero inoxidable, y para evitar que se produzcan marcas por fricción en el tubo doblado. Tales piezas tienen desde luego un desgaste rápido, y pueden afectar la dimensión final del doblez a medida que se acercan al final de su vida útil.

c) El proceso de soldadura está sujeto también a variaciones dimensionales de consideración, tanto por las variaciones de las piezas a soldar, como por el fenómeno de contracción térmica de los cordones de soldadura. Era un hecho de experiencia en nuestra compañía que, cuando se diseña un dispositivo de montaje para soldar las piezas, éste se debe hacer ajustable a fin de poder compensar las contracciones que sufre la soldadura al enfriarse. Paradójicamente, un dispositivo rígido, que se construya a las dimensiones teóricas del producto, puede resultar incapaz de producir piezas buenas, ya que la contracción térmica se hará cargo de sacar de tolerancia al producto.

d) El grado de variabilidad aceptable en los componentes de un sistema de escape, se calcula considerando que no son piezas que exijan un ensamble de alta precisión (a diferencia, por ejemplo, de los anillos del pistón y la camisa del cilindro) para realizar su función, y que además no se hallan a la vista del usuario.

e) Sin embargo, los requisitos de calidad dimensional para los sistemas de escape tienden a estrecharse cada vez más, por razones de facilidad en el montaje, y para evitar riesgos de interferencia con otras partes del vehículo.

Siendo la tubería de escape un elemento que suele variar dimensionalmente por acumulación de las tolerancias, la industria automotriz busca mantener las tolerancias de los componentes dentro de límites tales, que se garantice que no lleguen a ocurrir fallas en el montaje, como puede ser la no coincidencia de los ganchos de fijación en los últimos tramos de la tubería de escape.

En cuanto a los riesgos de interferencia, hay que considerar que el sistema de escape es de los últimos componentes que se diseñan en el automóvil y que, por tanto, el espacio que se le asigna dentro del vehículo viene a ser aquél que le dejan disponible los demás componentes del motor, chasis y carrocería. Por esta razón, no es poco frecuente que el sistema de escape posea varias zonas donde exista riesgo de contacto o interferencia con otras partes. Estos contactos pueden producir ruidos, desgaste, y aún averías más serias. Es preciso por tanto garantizar que la ruta de las tuberías de escape quede dentro de una zona tal que no exista riesgo de contacto.

1.6.2. Uso de patrones de inspección en la industria de sistemas de escape automotriz.

Las compañías que fabrican sistemas de escape automotrices tienen amplia experiencia sobre los factores que afectan a las dimensiones de sus productos. Hemos hecho una descripción general de esos factores en el apartado anterior. La pregunta es ahora qué medios de control emplean dichas compañías, para garantizar que no enviarán a sus clientes productos dimensionalmente defectuosos, que podrían provocar los problemas descritos en el inciso e) de dicho apartado.

La práctica comúnmente aceptada en la industria automotriz, para garantizar la calidad dimensional de los sistemas de escape, es el empleo de patrones de inspección, tanto para algunas piezas en proceso (por ejemplo tubos recién doblados) como para el producto terminado.

Definición: un patrón de inspección (llamado también calibre de inspección) es un dispositivo que permite comparar las dimensiones y/o la posición de una o varias características geométricas de una pieza, contra los valores especificados en el diseño de dicha pieza. El objeto del patrón de inspección es proporcionar un medio seguro y práctico para decidir sobre la aceptación o rechazo de una determinada característica de un producto y, por tanto, la aceptación o rechazo del producto mismo.

En el proyecto de fabricación de este múltiple de escape, uno de los requisitos puestos por el cliente fue, precisamente, la fabricación de un dispositivo de inspección final para revisar el 100% de las piezas terminadas, antes de su embarque a la planta armadora de automóviles. El dispositivo tendría que ser inspeccionado y aprobado por personal de los departamentos de Aseguramiento de la Calidad Exterior y de Metrología de la empresa compradora, y además sería utilizado para la liberación de las muestras iniciales del producto. Examinaremos a continuación una norma de calidad emitida por nuestro cliente, bajo la cual se rige el diseño y construcción de este tipo de dispositivos.

1.7. Norma sobre patrones de inspección establecida por el cliente.

Todo proveedor que suministra componentes del sistema escape al cliente en cuestión debe seguir los lineamientos de la correspondiente Norma de Calidad de la Oficina de Ingeniería, titulada "Especificaciones de los Patrones para Inspección Final - Componentes de Sistemas de Escape". El alcance y obligatoriedad de esta norma quedan especificados de la siguiente manera.

"1 - Objetivo

a - Esta norma ha sido emitida para mantener la calidad y la consistencia en la verificación de los ensambles de los sistemas de escape.

b - Esta norma proporciona los lineamientos que se deben seguir en el diseño, construcción, aprobación de, y cambios a los patrones para inspección final de sistemas de escape.

2 - Alcance

a - Se hará referencia a esta norma en todos los dibujos de detalle de ensambles de sistemas de escape.

b - Todos los proveedores deben ajustarse a los lineamientos establecidos en esta norma (Norma de Calidad, A: "Generalidades")."

A lo largo del proceso de diseño nos remitiremos con frecuencia a esta norma.

1.7.1. Sobre los dibujos de la parte y la intención de diseño.

La función del patrón de inspección final es, para nuestro cliente, garantizar la calidad dimensional de los componentes y ensambles de los sistemas de escape. Esta noción de calidad consiste en garantizar que todas las partes suministradas a el cliente posean las características dimensionales, y cumplan con las respectivas tolerancias, especificadas en el dibujo de la parte. La norma del cliente enuncia este objetivo de la siguiente manera:

"Los diseños, tanto de los patrones en su concepto general, como de los detalles que los componen (...) se harán conforme a dibujos y

especificaciones liberados, y a información especial proporcionada por Compras. Los diseños de patrones deben reflejar la última letra de modificación en el dibujo en cuestión (Norma de Calidad, B, 3: "Procedimiento general")".

En este punto hay que explicar el concepto de letra de modificación. Cada vez que el dibujo de una parte o de un ensamble es modificado por el departamento de Ingeniería, dicha modificación queda identificada en el dibujo por medio de una letra. Cuando se trata de un dibujo que ha sido emitido por primera vez, se dice que su nivel de modificación es letra "A". Las posteriores modificaciones son identificadas sucesivamente con las letras "B", "C", etc.

Es claro que el criterio fundamental conforme al cual se evalúan las partes producidas y, por tanto, el criterio principal para diseñar el dispositivo, consiste en cumplir lo que establece el dibujo de la parte liberado por el cliente, a última letra de modificación. Pero pueden surgir dificultades cuando, en el caso de una parte nueva como ésta, se tiene que trabajar con un dibujo de producto emitido por primera vez. Suele ocurrir que los dibujos de partes a nivel "A", contengan algunas especificaciones erróneas o insuficientes, e incluso deficiencias de diseño, que solamente se manifiestan una vez que está en desarrollo el proceso para la fabricación del nuevo producto.

En ocasiones esas fallas se detectan cuando ya se ha avanzado en la fabricación de los herramentales. Otras surgen cuando que se intenta producir las primeras muestras del producto, o incluso hasta que se hacen las pruebas de montaje en el vehículo. En el caso de este proyecto, hubo algunas fallas en el dibujo original que se detectaron precisamente al momento de diseñar el dispositivo de inspección. En esos casos se hace necesaria una reunión entre los departamentos de ingeniería del cliente y del proveedor, para acordar las modificaciones que habrá que hacer al diseño del producto.

Sin embargo, la urgencia con la que se suelen realizar los proyectos de nuevas partes, normalmente hace imposible para el proveedor suspender el diseño y la fabricación de los herramentales y dispositivos de inspección, mientras se prepara el dibujo corregido del producto. Por esta razón el mismo cliente ha previsto un segundo criterio que sirve de norma para el diseño y construcción de los herramentales y dispositivos. Este criterio es lo que se conoce como intención de diseño, y está previsto también en la Norma de Calidad:

"Se requiere cumplir con criterios de calibrado (entiéndase inspección o verificación) específicos. Este calibrado deberá cubrir:

1 - Los requerimientos especificados en el dibujo del número de parte (...)

3 - La intención de diseño de la parte por Ingeniería (Norma de Calidad, C: "Requisitos generales de diseño")."

Por intención de diseño se entiende el conjunto de características que debe poseer la parte para poder realizar satisfactoriamente la función para la que fue concebida. Es claro que el dibujo no debería ser otra cosa que la expresión, precisa y sin ambigüedad, de la intención del diseño; pero en ocasiones el dibujo no logra cumplir a la perfección ese objetivo. Es entonces cuando se debe recurrir a soluciones de otro tipo, por ejemplo convocar a una junta entre el cliente y el proveedor para establecer acuerdos sobre el diseño del producto.

Durante el desarrollo de nuevos productos, las juntas del personal de ingeniería del cliente y del proveedor tienen como objeto, muchas veces, clarificar la intención del diseño del producto. Un conocimiento claro de ella resulta de gran valor cuando surgen problemas con el dibujo original del producto. En esos casos, las modificaciones al diseño se pueden establecer prontamente mediante acuerdos firmados por ambas partes; con dichos acuerdos el proveedor puede continuar su trabajo sin necesidad de aguardar a que esté listo el dibujo modificado (que de cualquier modo se tiene que elaborar).

Dado que en este proyecto fue necesario modificar el dibujo original, conviene explicar brevemente cuál es la intención de diseño de nuestro producto. Puesto que en este momento nos ocupa únicamente el diseñar un dispositivo para inspeccionar las piezas, nos limitaremos a la intención de diseño desde el punto de vista dimensional.

1.7.2. Intención de diseño del múltiple de escape en estudio: características dimensionales.

La intención de diseño de nuestro producto podemos resumirla en tres características. A ellas nos remitiremos al analizar el dibujo del producto:

a) La parte deberá poder montarse sin dificultad en la cabeza de cilindros, y ser acoplada también sin dificultad al siguiente componente del sistema de escape (el convertidor catalítico). Por un montaje "sin dificultad" se entiende que un operador, dotado de las herramientas adecuadas, y siguiendo las instrucciones de la Hoja de Proceso correspondiente, pueda realizar el montaje sin fallas ni repeticiones, en el tiempo asignado para esa operación.

b) Las dimensiones del múltiple no deberán variar en forma tal que dificulten el montaje de partes ulteriores del sistema de escape, ni contribuir a que el sistema completo quede fuera de las dimensiones que le corresponden.

c) El múltiple nunca deberá tener contactos no deseados con otras partes del automóvil, ni contribuir a que otros componentes del sistema de escape los tengan. El no cumplir con este requisito podrá provocar ruidos indeseables en el vehículo, desgaste inaceptable de las partes, o falla de las mismas.

2. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO.

2.1. Dibujos de ingeniería del producto.

Procederemos ahora a hacer un estudio detallado de los dibujos de ingeniería del múltiple de escape. Es necesario tener una buena comprensión de éstos para poder iniciar el diseño de nuestro dispositivo de inspección.

Los dibujos de ingeniería de este producto constan de dos láminas diferentes. En la figura 2.1 se muestra la lámina 1, que consta de las tres vistas principales del producto, la lista de componentes que forman el producto y la tabla de coordenadas de los puntos principales del ensamble. La lámina 2, mostrada en la figura 2.2, contiene cinco vistas auxiliares del producto, identificadas con letras de la "A" a la "E", además de una vista seccional de las ramas 3 a la 6.

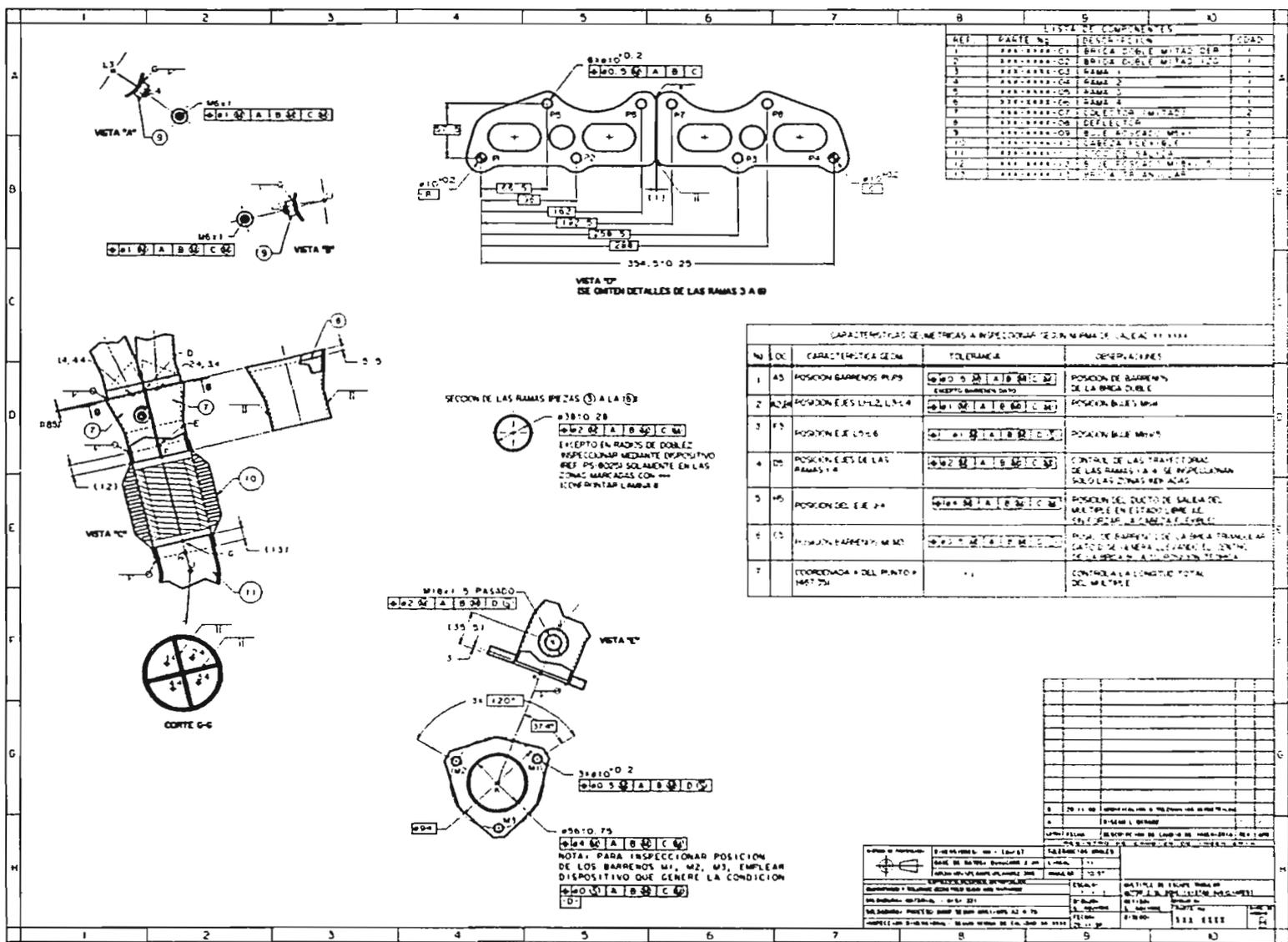
2.1.1. Sistema de coordenadas del múltiple de escape.

El primer paso en el diseño de este múltiple de escape fue establecer las trayectorias de los conductos que forman el múltiple. Estas trayectorias quedan definidas por los ejes centrales de las tuberías del múltiple, y en este caso se pueden distinguir cinco trayectorias principales, que son las de los ejes de cada una de las ramas, más la trayectoria del eje del ensamble de salida, que está formado por el cono colector, la cabeza flexible, el codo de salida y la brida triangular.

Las trayectorias a que nos hemos referido quedan definidas mediante puntos que se localizan en los ejes del múltiple. Para establecer las coordenadas de esos puntos hace falta contar con un sistema de ejes coordenados en las tres dimensiones. El origen y la posición absoluta de estos ejes se tiene que establecer sobre el producto mismo, tomando como referencia algunas características de éste que resulten fáciles de localizar. Al hablar aquí de características nos referimos, por ejemplo, a superficies planas, barrenos, aristas u otros detalles.

En este momento hay que hacer una observación interesante: en nuestro producto, las características geométricas principales van a ser controladas por medio de tolerancias geométricas. De hecho, podemos adelantar que el dispositivo de inspección va a servir para verificar justamente esas tolerancias. El estudio detallado de las tolerancias geométricas del múltiple va a ocupar gran parte del capítulo 3, pero lo que debemos considerar ahora es que este tipo de tolerancias generalmente hacen referencia a lo que se conoce como características dato, y éstas nos van a servir para establecer nuestro sistema de coordenadas.

Figura 2.2. Lámina 2. Vistas auxiliares del múltiple de escape



Definiciones: se entiende por dato una línea, superficie, punto o área teóricamente exacto que se emplea como origen de dimensiones. Por ejemplo, durante el proceso de maquinado una pieza es asentada sobre superficies dato que, para efectos prácticos, se consideran teóricamente perfectos. Las superficies de la pieza que descansan sobre las superficies dato se denominan características dato de la pieza.

Las características dato son importantes desde dos puntos de vista. Primero, porque sobre ellas se ha de apoyar la pieza tanto para ser maquinada como para su medición y, segundo, porque sirven para establecer un origen para la medición. Por lo tanto, si en este momento buscamos localizar un sistema de ejes coordenados para el múltiple de escape, resulta claro que lo mejor que podemos hacer es basarnos para ello en las características dato que marca el dibujo.

La figura 2.3.a muestra una vista isométrica parcial del múltiple, con su sistema de ejes coordenados. En la figura 2.3.b se puede observar que el origen de los ejes se encuentra en la intersección que forman

- el eje del barreno de la extrema izquierda de la brida doble, y
- la superficie de asentamiento de la brida.

En esa misma figura notamos que la superficie de asentamiento de la brida es la característica dato "A". A su vez, el barreno mencionado constituye la característica dato "B", y el barreno de la extrema derecha de la brida es la característica dato "C". En base a esos tres datos, nuestros ejes coordenados quedan establecidos de la siguiente manera:

X: eje perpendicular a la superficie "A". Será positivo en dirección a la brida triangular.

Y: eje inscrito en la superficie "A". Pasa por el origen y por el punto de intersección del eje del barreno "C" con la superficie "A". Es positivo en dirección de "B" hacia "C".

Z: es por supuesto perpendicular a "X" y a "Y". Su dirección positiva se obtiene por regla "de la mano derecha".

2.1.2. Tabla de coordenadas del múltiple.

La figura 2.4 muestra la vista superior del múltiple con los puntos que definen la forma y dimensiones del producto. Las trayectorias de las ramas quedan establecidas por los puntos 1.1...1.4, 2.1 ... 2.4, 3.1 ... 3.4, 4.1 4.4. La trayectoria del ducto de salida la definen los puntos E, F, G, H, J, K. Por su parte, la localización y orientación de los bujes roscados (piezas 9 y 12) queda definida, en cada caso, por dos puntos que determinan un eje; éstos son los puntos denominados L1, L2; L3, L4; L5, L6. Finalmente se encuentran cuatro puntos

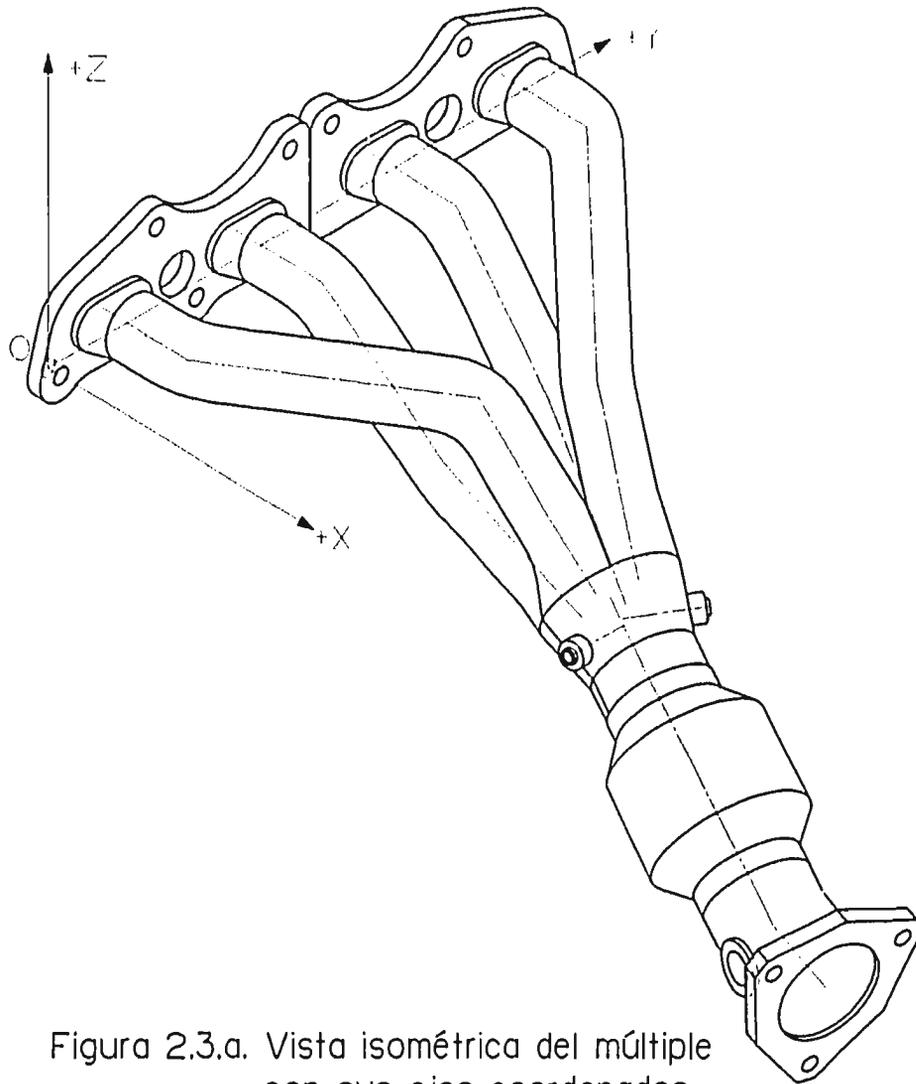


Figura 2.3.a. Vista isométrica del múltiple con sus ejes coordenados

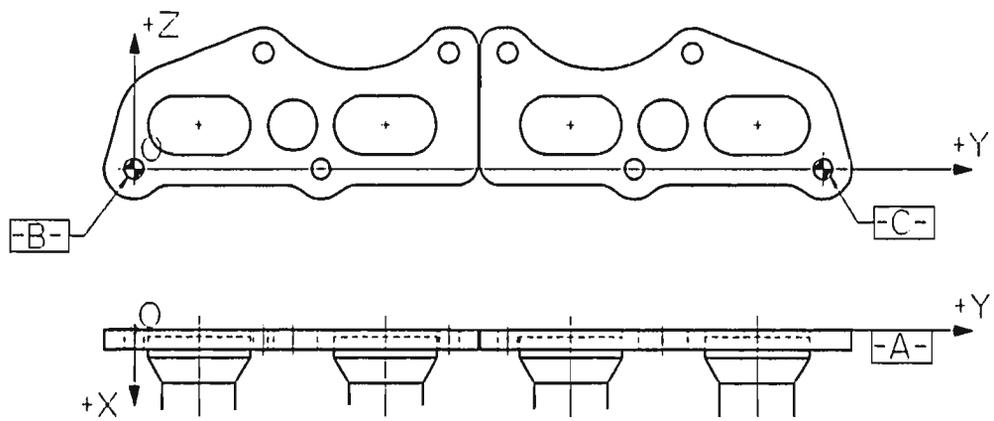


Figura 2.3.b. Sistema de ejes coordenados del múltiple (vista ortogonal)

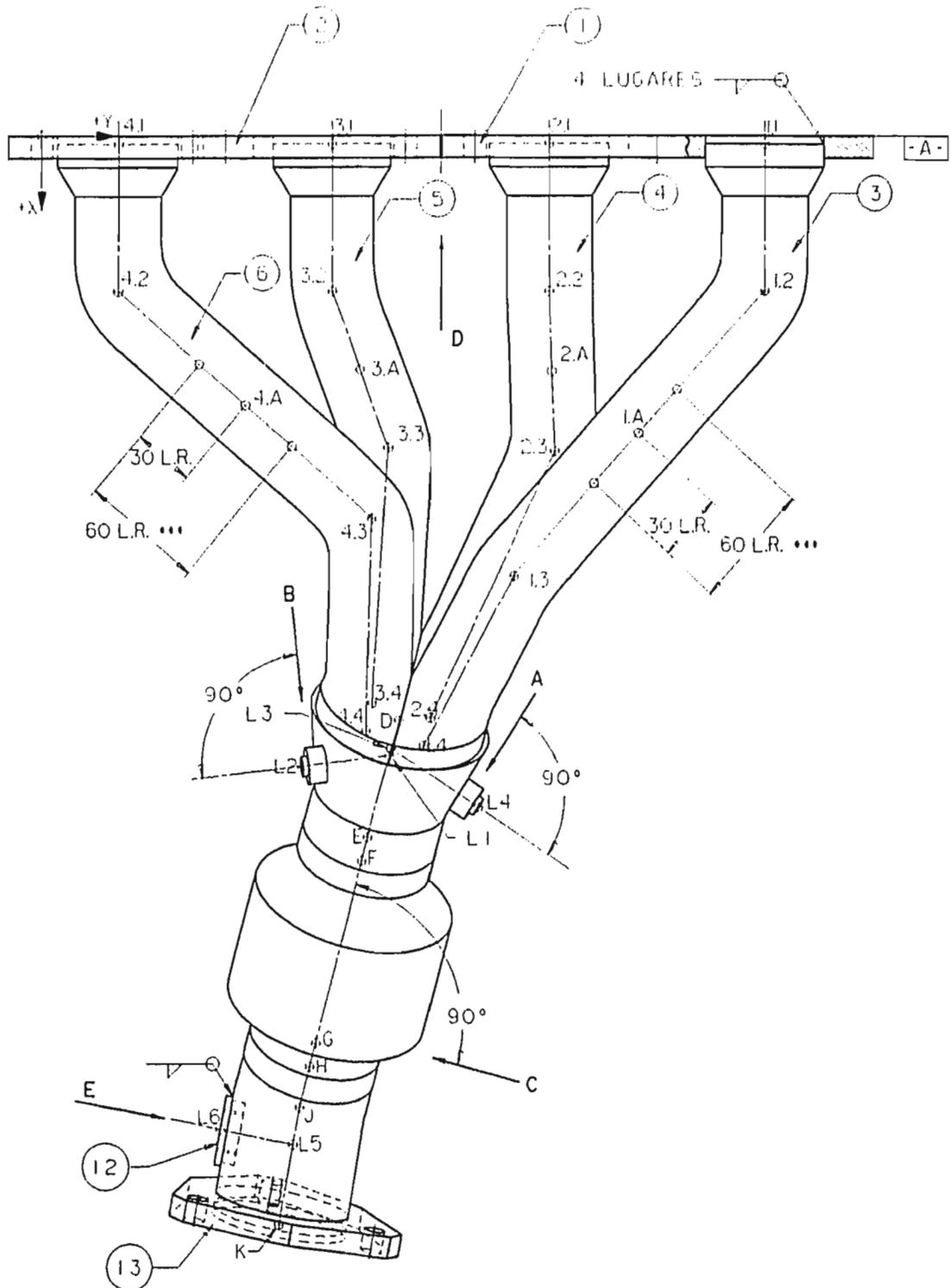


Figura 2.4. Vista superior del múltiple de escape

adicionales denominados 1.A, 2.A, 3.A, 4.A. Cada uno de ellos se localiza en una porción del eje de las ramas. Estos puntos se emplearán como referencia para una de las mediciones que debe realizar el dispositivo de inspección.

La figura 2.5 representa la tabla de coordenadas de los puntos que hemos mencionado en el párrafo anterior. En ella se encuentra contenida prácticamente toda la acotación necesaria para fabricar el ensamble. Esta tabla constituyó la guía principal para elaborar el modelo tridimensional en CADD¹ del múltiple de escape, y con él modelar las herramientas de soldadura y el dispositivo de inspección final.

2.1.3. Vistas principales y auxiliares del múltiple.

Para facilitar la comprensión de los dibujos de fabricación del producto (cfr. figuras 2.1 y 2.2), mostraremos ahora en varias figuras los detalles de estos dibujos. Existen, como hemos dicho, tres vistas principales:

Vista superior: figura 2.4. Anteriormente hemos hecho referencia a esta vista, y la consideraremos como principal por ser la más representativa de las tres vistas ortogonales. A partir de ella están sacadas todas las vistas auxiliares, que son importantes porque en ellas se indican las tolerancias geométricas del producto.

Vista frontal: figura 2.6.

Vista lateral derecha: figura 2.7.

A partir de la vista superior están sacadas las siguientes vistas auxiliares:

Vista "A" — unión del buje M6 x 1 derecho (pieza 9) con el cono colector: figura 2.8. El buje va unido por medio de un cordón circular de soldadura. Tiene especificada una tolerancia posicional de $\varnothing 2$ mm.

Vista "B" — ídem buje M6 x 1 izquierdo: figura 2.9.

Vista "C" — detalle de la unión de las cuatro ramas (piezas 3-6), cono colector (pieza 7, dos mitades), cabeza flexible (pieza 10) y codo de salida (pieza 11): figura 2.10. Se pueden observar los símbolos de los cordones de soldadura circular con que se van a unir estas piezas. En el corte G-G se indican además soldaduras de unión en los extremos de las cuatro ramas, y en la vista girada del cono colector se indica la posición de la placa deflectora (pieza 8) dentro del cono. También existen dimensiones de referencia para indicar los traslapes entre piezas.

¹ CADD son las siglas de *Computer Aided Drafting and Design*: Dibujo y Diseño asistido por Computadora.

COORDENADAS TEÓRICAS			
NOTA: ESTAS COORDENADAS HABRAN DE CONSIDERARSE COMO DIMENSIONES BÁSICAS			
PUNTO	X	Y	Z
1.1	3.5	321	21.7
1.2	66.99	321	21.7
1.3	189	209.76	-14.91
1.4	261.61	169.99	-86.33
2.1	3.5	225.3	21.7
2.2	66.99	225.3	21.7
2.3	135.8	228.04	-63.58
2.4	249.52	172.83	-103.12
3.1	3.5	129.2	21.7
3.2	66.99	129.2	21.7
3.3	133.99	154.89	-68
3.4	242.98	147.72	-102.77
4.1	3.5	33.5	21.7
4.2	66.99	33.5	21.7
4.3	164.53	147.51	-7.48
4.4	255.06	144.89	-79.98
D	250.72	159.28	-90.67
E	301.2	145.74	-119.11
F	311.38	143.01	-124.85
G	389.46	122.08	-168.83
H	399.64	119.35	-174.57
J	417.07	114.67	-184.4
K	467.35	104.85	-193.45
L1	265.9	155.88	-97.81
L2	271.28	108.42	-91.6
L3	263.36	156.56	-96.38
L4	288.14	194.21	-94.61
L5	433.04	111.55	-187.27
L6	426.71	79.16	-187.27
1. A	128	265.38	3.39
2. A	101.4	226.67	-20.94
3. A	100.49	142.05	-23.15
4. A	115.76	90.51	7.11

Figura 2.5. Tabla de coordenadas de los puntos del múltiple

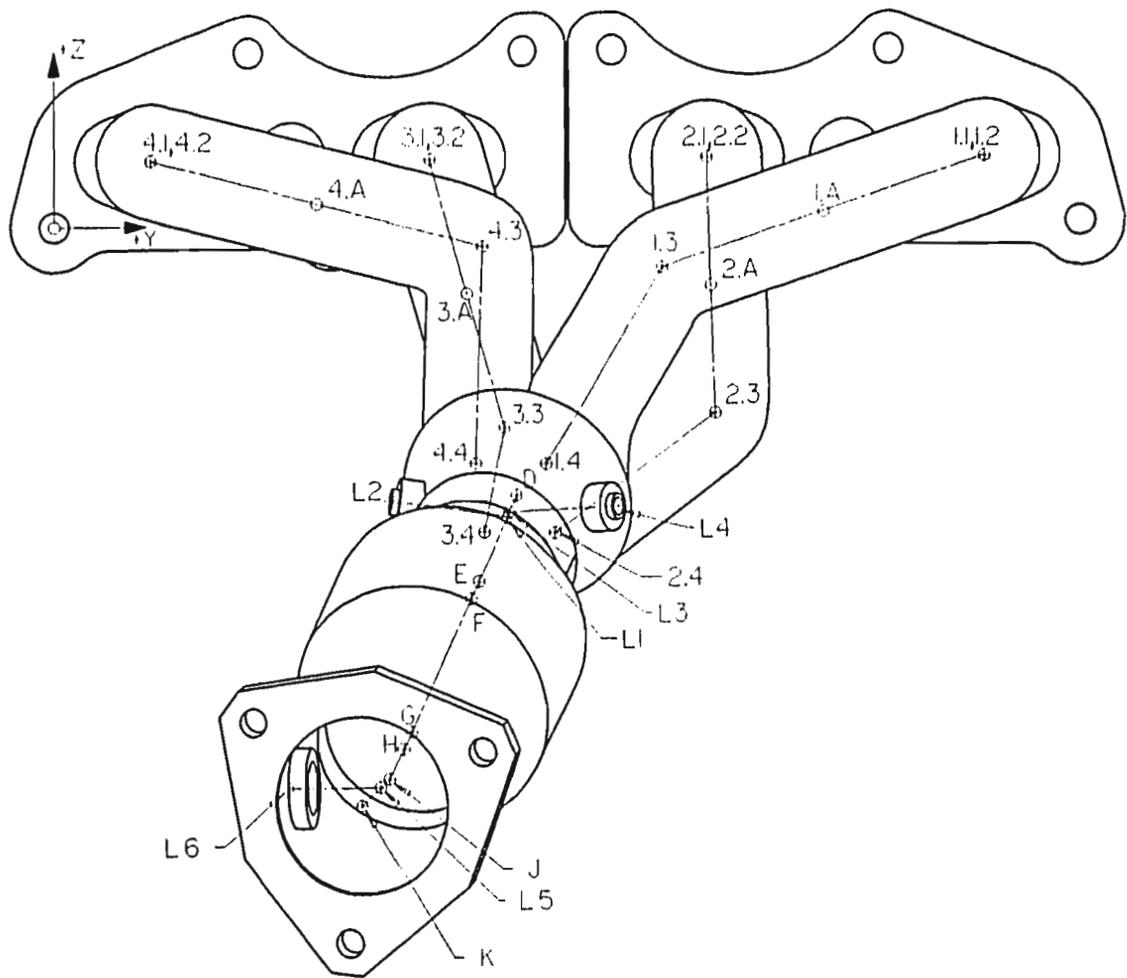


Figura 2.6. Vista frontal del múltiple de escape

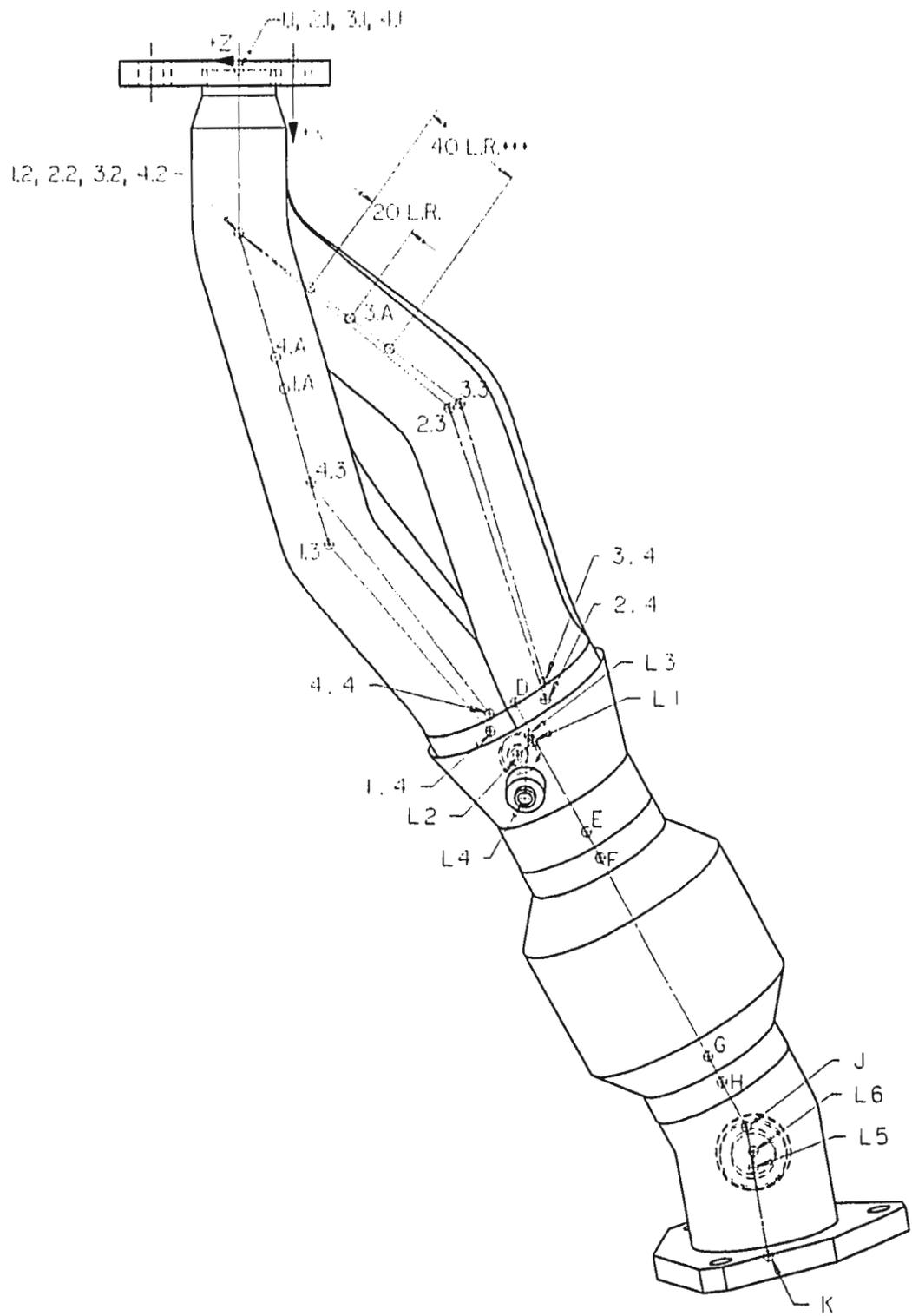


Figura 2.7. Vista lateral derecha del múltiple de escape

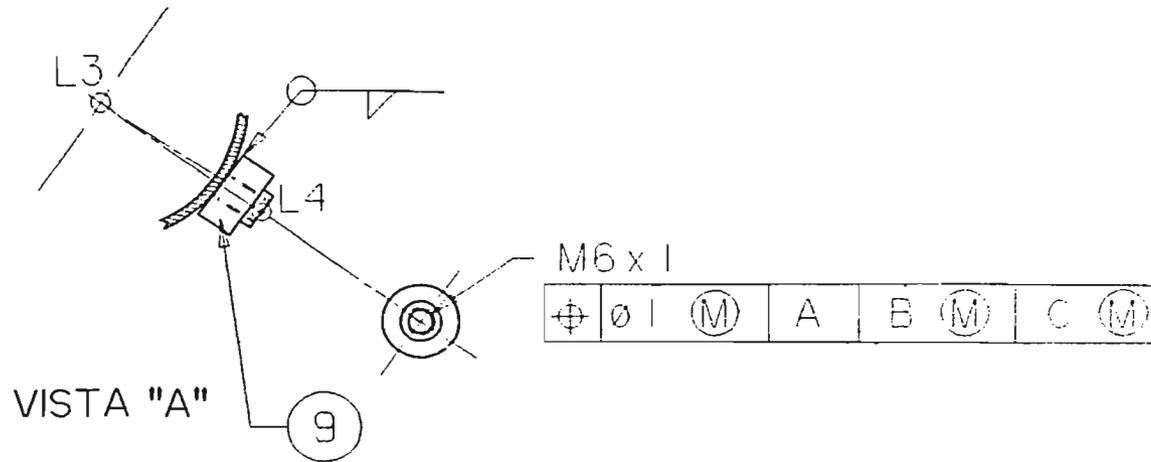


Figura 2.8. Unión del buje M6x1 derecho con el cono colector

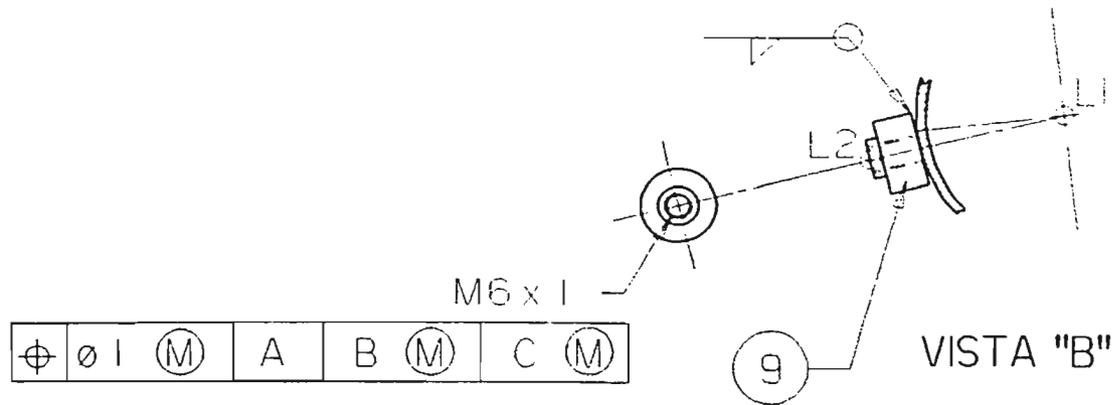


Figura 2.9. Unión del buje M6x1 izquierdo con el cono colector

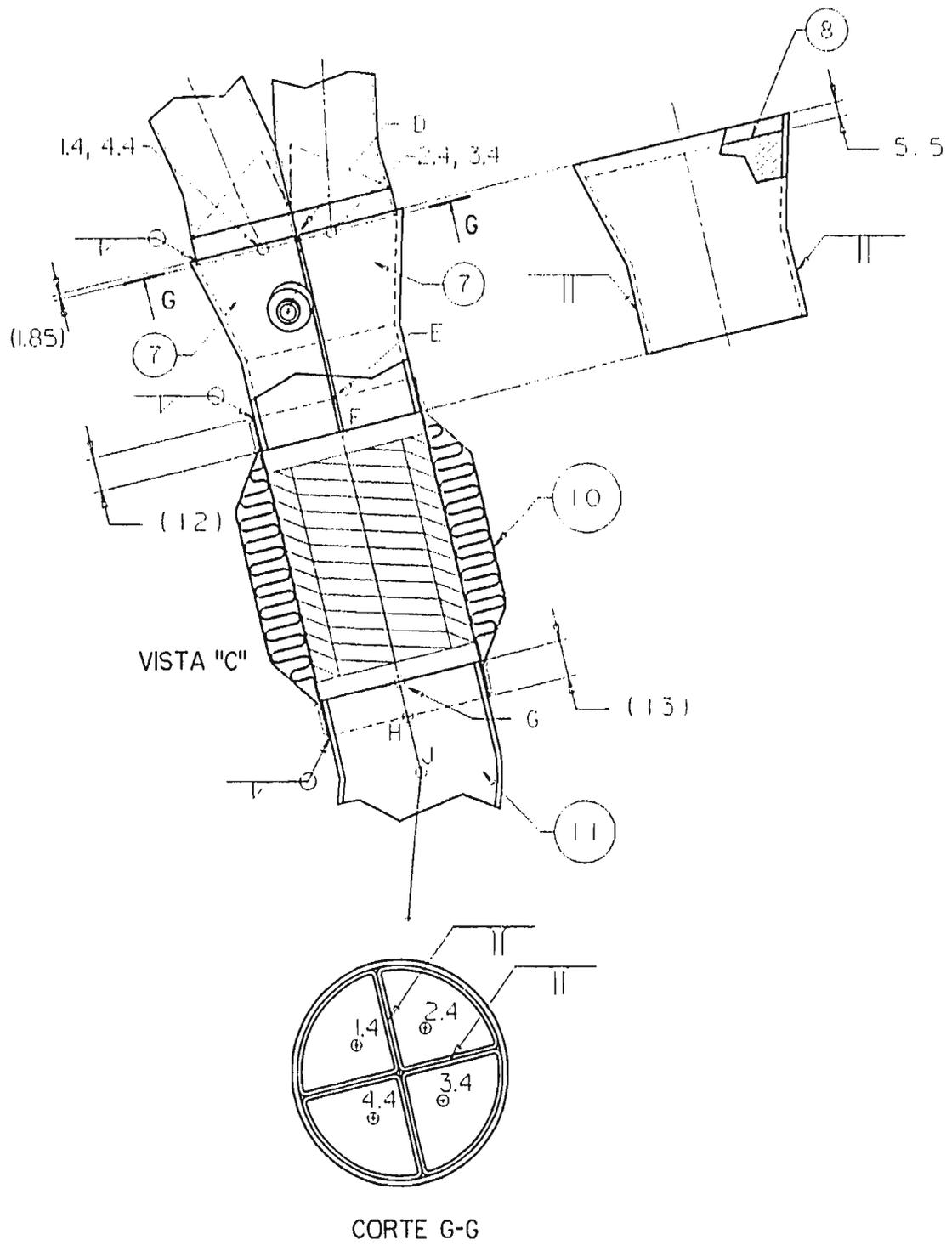
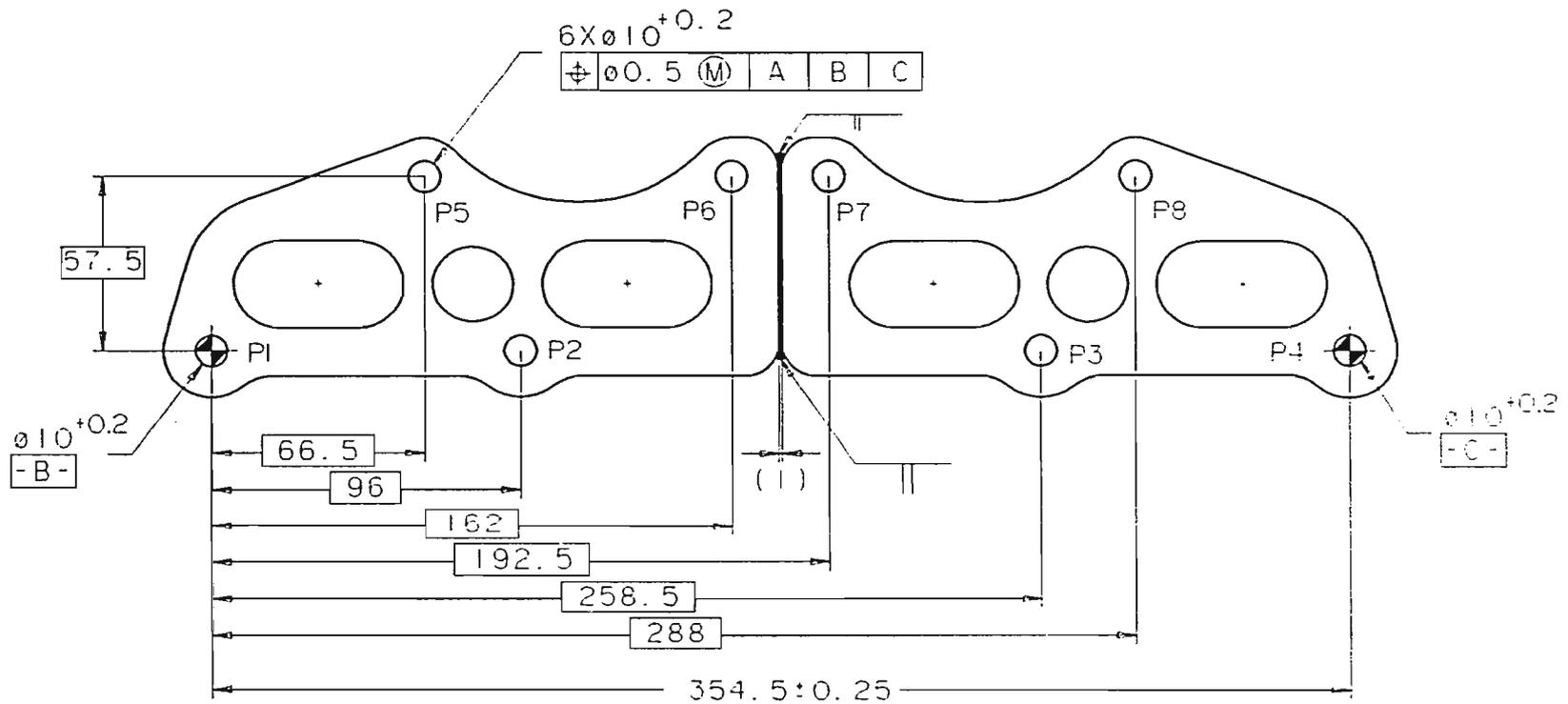


Figura 2.10. Unión de ramas, como colector, cabeza flexible y codo de salida



VISTA "D"
 (SE OMITEN DETALLES DE LAS RAMAS 3 A 6)

Figura 2.11. Brida doble del múltiple

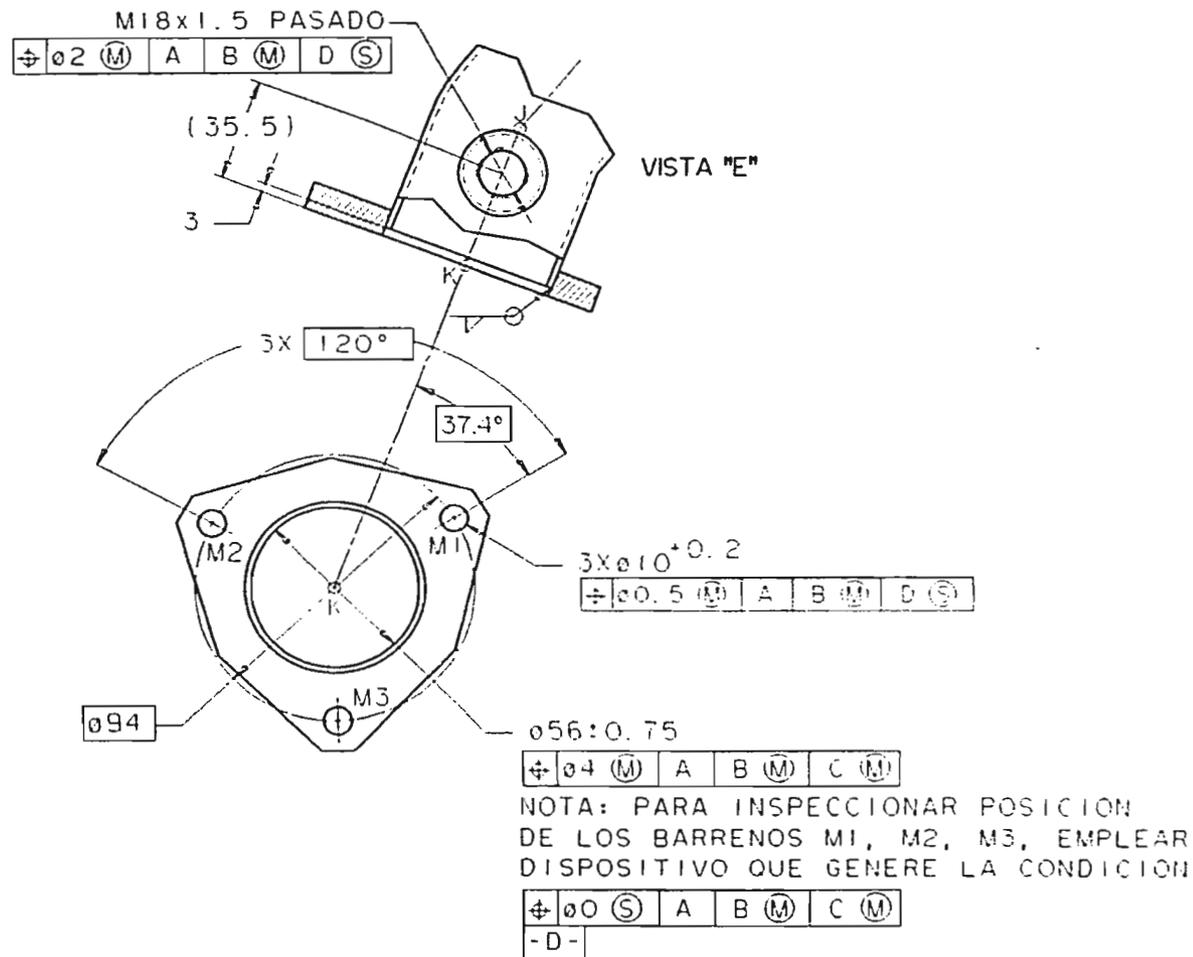


Figura 2.12. Ensamble del codo de salida, buje M18x1.5 y brida triangular

Vista "D" — brida doble: figura 2.11, página 31. Se especifica tolerancia posicional de $\varnothing 0.5$ mm en los barrenos de fijación.

Vista "E" — ensamble del codo de salida (pieza 11), buje M18 x 1.5 (pieza 12) y brida triangular (pieza 13): figura 2.12, página 32. Se especifican tolerancias de posición del centro y de los barrenos de la brida, así como del eje del buje roscado.

Sección transversal de las ramas (piezas 3, 4, 5 y 6): figura 2.13. Los ejes de las ramas 3 a la 6 deben quedar, como se indica, dentro de una tolerancia posicional de $\varnothing 2$ mm. Con esta especificación se asegura que las tuberías tengan la ruta prevista en el diseño.

SECCION DE LAS RAMAS (PIEZAS 3 A LA 6)

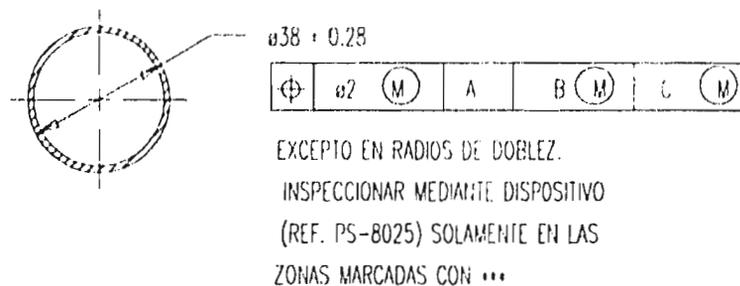


Figura 2.13. Sección transversal de las ramas

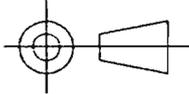
2.1.4. Especificaciones adicionales del dibujo. Tolerancias geométricas.

En la figura 2.14 se muestra el recuadro con la información general del dibujo. En él se puede observar que está indicado el nivel de cambio "B", conforme a lo que explicamos en el capítulo 1, sección 1.7.1.

El detalle más importante dentro de la información general es la nota "INSPECCION DIMENSIONAL: SEGUN NORMA DE CALIDAD XX-XXXX". Con ella adquiere un carácter obligatorio la fabricación y uso del dispositivo de inspección, conforme a esa norma del cliente. En cuanto a las características a inspeccionar, según los lineamientos de la Norma de Calidad a la que hemos estado refiriéndonos, la lámina 2 (figura 2.15 y cfr. figura 2.2) contiene una tabla con las características geométricas importantes del producto. Esta tabla muestra la siguiente información:

a) Localización de cada característica en las diferentes vistas del dibujo, siguiendo las coordenadas del marco de la hoja.

B	28.11.96	MODIFICACION A TOLERANCIAS GEOMETRICAS		
A		DISEÑO LIBERADO	/	/
LETRA	FECHA	DESCRIPCION DE CAMBIO DE INGENIERIA	REV.	APR.
REGISTRO DE CAMBIOS DE INGENIERIA				

SISTEMA DE PROYECCION: 	DIMENSIONES: mm / [pulg]	TOLERANCIAS GRALES.			
	BASE DE DATOS: DynaCADD 2.04	LINEAL	: 1		
	ARCHIVO: \PLANOS\PLANOS2.DWG	ANGULAR	: 0.5°		
ESPECIFICACIONES GENERALES			ESCALA:	MULTIPLE DE ESCAPE TUBULAR	
DIMENSIONADO Y TOLERADO GEOMETRICO SEGUN ANSI Y14.5-M1982			1 : 1	MOTOR 2.0L DOHC (VISTAS AUXILIARES)	
SOLDADURA: MATERIAL - AISI 321			DIBUJO:	REVISO:	DIBUJO No
SOLDADURA: PROCESO GMAW SEGUN ANSI/AWS A2.4-79			G. AGUIRRE	G. AGUIRRE	PARTE No
INSPECCION DIMENSIONAL: SEGUN NORMA DE CALIDAD XX-XXXX			FECHA:	DISEÑO:	NIVEL DE CAMBIO B
			28.11.96		

34

Figura 2.14. Recuadro de información general del dibujo

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS A INSPECCIONAR SEGUN NORMA DE CALIDAD XX-7007				
No	LOC.	CARACTERISTICA GEOM	TOLERANCIA	OBSERVACIONES
1	A5	POSICION BARRENOS PL.P8	± 0.5 (M) A B (M) C (M) EXCEPTO BARRENOS DATO	POSICION DE BARRENOS DE LA BRIDA DOBLE
2	A2,B1	POSICION EJES L1-L2, L3-L4	± 0.1 (M) A B (M) C (M)	POSICION BUJES M6-1
3	F3	POSICION EJE L5-L6	± 0.1 (M) A B (M) D (S)	POSICION BUJE M8x1.5
4	D5	POSICION EJES DE LAS RAMAS 1-4	± 0.2 (M) A B (M) C (M)	CONTROL DE LAS TRAYECTORIAS DE LAS RAMAS 1 A 4. SE INSPECCIONAN SOLO LAS ZONAS INDICADAS
5	H5	POSICION DEL EJE J-K	± 0.4 (M) A B (M) C (M)	POSICION DEL JUNTO DE SALIDA DEL MULTIPLE EN ESTADO LIBRE (I.E. SIN FORZAR LA CABEZA FLEXIBLE)
6	G5	POSICION BARRENOS MI.M3	± 0.5 (M) A B (M) D (S)	POSIC. DE BARRENOS DE LA BRIDA TRIANGULAR. DATO D SE GENERA LLEVANDO EL CENTRO DE LA BRIDA (N) A SU POSICION TEORICA
7		COORDENADA X DEL PUNTO K (467.35)	: 1	CONTROLA LA LONGITUD TOTAL DEL MULTIPLE

Figura 2.15. Tabla de características geométricas del múltiple de escape

- b) Descripción de la característica geométrica.
- c) Tolerancia geométrica de la característica.
- d) Observaciones sobre la interpretación física de la característica.

La interpretación a detalle de esta tabla se realizará en el capítulo 3, sección 3.2, con miras al diseño del dispositivo de inspección.

2.2. Requisitos de Inspección de las piezas terminadas.

Para que la especificación de nuestro producto esté completa, no basta con proporcionar la información necesaria para diseñar el proceso de fabricación. Dentro del concepto moderno de aseguramiento de la calidad, el diseño del producto, y por tanto los dibujos, deben contener también especificaciones referentes al modo de inspeccionar el producto. De este modo se garantiza que el proveedor elabore su plan de inspección conforme a las normas del cliente.

Como ejemplo de lo anterior, nuestro cliente posee un código para identificar características críticas en un dibujo de producto. Este código consta de símbolos como "diamante", "escudo" o "pentágono". Cada uno de estos símbolos posee un significado preciso (basado en normas) sobre el modo en que se habrá de controlar esa característica: por ejemplo, uso de gráficas de control, uso de dispositivos de verificación, documentación de las auditorías de proceso, etc. En los dibujos de producto de esa compañía es normal encontrar dimensiones que van acompañadas de alguno de esos símbolos, por ejemplo "34◆" (diamante); esa dimensión se convierte así en una característica crítica, y el proveedor deberá diseñar un plan de inspección para ella, según lo que exija la norma para el símbolo en cuestión.

Aunque el dibujo del múltiple de escape, tal como fue elaborado por el cliente, no contenía esos símbolos, sí tenía en cambio la especificación "INSPECCION DIMENSIONAL: SEGUN NORMA DE CALIDAD XX-XXXX" que hemos mencionado, por lo que vamos a estudiar ahora los requisitos de inspección de producto terminado (llamada también inspección final) conforme a esa norma. Estos requisitos están contenidos en el capítulo "Control" de la norma, y se basan en el manual de Aseguramiento Estadístico de la Calidad (S.Q.A.) de la misma compañía.

En cuanto a la obligatoriedad de estos requisitos, la norma establece lo siguiente:

"Método de Muestreo según S.Q.A.

a - Resulta evidente que existe la necesidad de contar con un criterio uniforme para auditoría/muestreo de los componentes del sistema de escape. Estas instrucciones detallarán el procedimiento que ha de ser

seguido por todo el personal (tanto nuestro como del proveedor) que entre en contacto con los componentes del sistema de escape.

b - Al cumplir con este procedimiento, se minimizarán las controversias sobre el uso de los dispositivos de inspección final, y sobre la aplicación del Manual S.Q.A. al producto.

c - Este procedimiento será obligatorio para todos los proveedores hasta que el Ingeniero de Calidad-Proveedores determine que un proveedor ha alcanzado un nivel probado de capacidad que permita conceder una reducción en los requisitos de auditoría al proceso."

Los requisitos de inspección final propiamente dichos se enuncian a continuación (ahí se hace también referencia a las auditorías de proceso, aunque éstas sólo tienen una relación indirecta con este proyecto):

"(1) Mientras la capacidad del proceso (por número de parte individual) no haya quedado establecida para todas las características (críticas):

(a) Todas las partes serán inspeccionadas al 100% en línea, mediante el dispositivo de inspección final autorizado para esas características.

(b) La auditoría de proceso consistirá de 50 piezas por lote, y cubrirá todas las características de la parte como se hallen especificadas en el (...) dibujo. El dispositivo de inspección final será utilizado, junto con otros dispositivos de medición, siempre que lo exija esta auditoría". Es decir, se podrá hacer uso del dispositivo también en las auditorías periódicas al proceso, aunque queda claro que el uso más intenso lo tendrá en la inspección al 100% de las piezas terminadas.

(2) Después de que la capacidad del proceso (por número de parte individual) haya quedado establecida para todas las características (críticas):

(a) El tamaño de la muestra para inspección final, por medio del dispositivo de inspección, podrá ser reducido a una cantidad nunca menor de 5 piezas por hora (...)

d - Se entiende que cada vez que un proceso se demuestre estadísticamente fuera de control, el proveedor tendrá que volver a los requisitos del inciso (1) (principalmente la inspección final al 100%) hasta que el proceso quede nuevamente bajo control (...)

g - En los casos de 1.b) y 2.b) (auditorías de proceso), si un solo defecto es encontrado en la muestra, se requerirá inspección al 100% de las piezas en el lote."

En base a lo que acabamos de leer, podemos resumir el requisito de inspección final por parte del cliente en tres puntos básicos:

a) Inspección final al 100% en todo inicio de producción de una parte nueva. La razón es que, para hacer un estudio de capacidad de los procesos, se requiere cierta cantidad de información estadística del proceso en marcha; no se puede hacer un estudio de capacidad previo a la producción.

b) La cantidad de piezas que pasarán por la inspección final sólo se puede reducir con criterio restrictivo: si y solamente si está garantizada la suficiente capacidad del proceso.

c) Ante cualquier duda sobre la capacidad del proceso, se deberá volver de inmediato a la inspección al 100%.

Como conclusión, resulta claro que tendremos que diseñar un dispositivo con capacidad para inspeccionar el 100% de las piezas producidas durante un periodo indefinido de tiempo.

Procederemos ahora a estudiar los requisitos de diseño del dispositivo. Nos detendremos especialmente en el análisis de las características geométricas a verificar en la pieza.

3. REQUISITOS DE DISEÑO DEL DISPOSITIVO.

3.1. Procedimiento de solicitud y aprobación del diseño del dispositivo.

La Norma de Calidad contiene un procedimiento para el desarrollo de un dispositivo de inspección de sistemas de escape. En cuanto a la primera parte del proceso, que comprende la solicitud del diseño y la aprobación del mismo, establece lo siguiente:

"(1) El diseño del dispositivo comienza para el proveedor con la recepción de una Solicitud de Dispositivo de Inspección Certificado de la División de Estampado y Ensamble.

(2) El proveedor y/o la entidad que tenga designada para el diseño y la fabricación del dispositivo deberá comunicarse con Ingeniería de Escapes para confirmar un entendimiento recíproco de la intención de diseño y de los detalles del Dibujo de Parte. Esto resulta benéfico desde el punto de vista de resolver las interpretaciones antes de proceder al diseño. La discusión (sobre el dibujo del producto) es bienvenida por parte del personal de esta compañía (...)

(4) Se enviarán tres (3) dibujos reproducibles del diseño del dispositivo, por parte del proveedor, a la Unidad de Patrones de la División de Estampado y Ensamble.

(5) La Unidad de Patrones estudia el diseño del dispositivo del proveedor y lo compara con el Dibujo de Parte para garantizar que el dispositivo final en funcionamiento cumplirá con la intención de diseño de la parte prevista por Ingeniería (...)

(7) Una vez que se establece un acuerdo mutuo, el proveedor recibirá una copia del Formato de Aprobación del Diseño de Dispositivo con la fecha de aprobación y la firma de un miembro de la Unidad de Patrones de Inspección." (Norma de Calidad, F - 3 - c)

En el caso de nuestro proyecto, el trabajo de establecer un acuerdo mutuo sobre la interpretación del dibujo del producto requirió varias reuniones del personal de ingeniería del cliente y del proveedor. En estas reuniones quedaron patentes algunos errores en la especificación de las tolerancias geométricas del producto, por lo que fue necesario estudiar la intención del diseño del cliente para llegar a una expresión correcta de esas tolerancias. Los resultados de esas discusiones quedaron asentados en una serie de minutas escritas; éstas sirvieron como respaldo para justificar varias de las decisiones de diseño del dispositivo original.

El dibujo de producto empleado en este proyecto de tesis es un dibujo de producto a nivel de cambio "B", que es el que hemos analizado en el capítulo anterior. En ese dibujo están contenidas las modificaciones que se acordaron en las juntas de definición del diseño del dispositivo. Vamos a hacer ahora un análisis detallado de las tolerancias geométricas del producto y de su interpretación desde el punto de vista de la intención de diseño.

3.2. Definición de las características a inspeccionar: tolerancias geométricas del producto.

La primera conclusión de las juntas para definir el diseño del dispositivo, fue acordar exactamente cuáles iban a ser las características a inspeccionar. El cliente hizo además la petición de que un solo dispositivo de inspección final debía permitir inspeccionar todas las características controladas por medio de tolerancias geométricas. Se precisó que éstas eran las características principales desde el punto de vista de la intención del diseño, y que cualquier otra característica quedaba excluida del diseño del dispositivo.

Por conveniencia, en la figura 3.1 se muestra una vez más el cuadro de características geométricas a inspeccionar, con sus respectivas tolerancias. Cada una de las pruebas que debe realizar el dispositivo tiene asignado un número.

Ahora bien, como resultaría arduo ir explicando a cada paso los conceptos sobre tolerancias geométricas, hemos elaborado además el apéndice A, en el cual se explican todos los conceptos sobre tolerancias geométricas que emplearemos, en especial los relacionados con tolerancias de posición. Ellos permitirán interpretar correctamente las tolerancias especificadas para nuestro producto y, comprender su razón de ser.

La explicación de cada una de las características geométricas a inspeccionar la dividiremos (salvo en el caso de las características dato) en cuatro aspectos:

- Cuadro de control de la característica.
- Interpretación: explicar el contenido del cuadro de control de la característica, y en especial el significado de la tolerancia geométrica que se haya especificado.
- Intención de diseño: explicar aquellas características funcionales de la pieza que buscamos asegurar por medio de la tolerancia geométrica.
- Criterios de aceptación: condiciones bajo las cuales se considera que la característica está dentro de tolerancia. En algunos casos, al llegar a este punto estableceremos el concepto de un elemento mecánico que pueda servir para verificar la característica geométrica.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS A INSPECCIONAR SEGUN NORMA DE CALIDAD ISO 9001				
PRUEBA No	LOC.	CARACTERÍSTICA GEOM.	TOLERANCIA	OBSERVACIONES
1	A5	POSICION BARRENOS PL.P8	± 0.5 (M) A B (M) C (M) EXCEPTO BARRENOS DATO	POSICION DE BARRENOS DE LA BRIDA DOBLE
2	A2,B1	POSICION EJES L1-L2, L3-L4	± 0.1 (M) A B (M) C (M)	POSICION BUJES M6x1
3	F3	POSICION EJE L5-L6	± 0.1 (M) A B (M) D (S)	POSICION BUJE M8x1.5
4	D5	POSICION EJES DE LAS RAMAS L.4	± 0.2 (M) A B (M) C (M)	CONTROL DE LAS TRAYECTORIAS DE LAS RAMAS 1 A 4. SE INSPECCIONAN SOLO LAS ZONAS INDICADAS
5	H5	POSICION DEL EJE J-K	± 0.4 (M) A B (M) C (M)	POSICION DEL DUCTO DE SALIDA DEL MULTIPLE EN ESTADO LIBRE (E. SIN FORZAR LA CABEZA FLEXIBLE)
6	G5	POSICION BARRENOS M1.M3	± 0.5 (M) A B (M) D (S)	POSIC. DE BARRENOS DE LA BRIDA TRIANGULAR. DATO D SE GENERA LLEVANDO EL CENTRO DE LA BRIDA (K) A SU POSICION TEORICA
7		COORDENADA X DEL PUNTO K (467.35)	: 1	CONTROLA LA LONGITUD TOTAL DEL MULTIPLE

Figura 3.1. Tabla de características geométricas del múltiple de escape

3.2.1. Características dato del múltiple.

Para poder especificar cualquier tipo de tolerancia geométrica, el primer paso es establecer las características dato necesarias para fijar la pieza en el espacio. El modo en que establecimos los datos A, B y C para nuestra pieza ya fue explicado en el apartado 2.1.1. Aquí únicamente daremos una explicación adicional sobre el orden de precedencia de los datos, y cómo se pueden generar físicamente las superficies dato para localizar nuestra pieza.

Dato primario (A): la principal superficie de asentamiento del múltiple es la superficie maquinada de la brida doble; por ella va unido a la cabeza de cilindros. Resulta lógico escogerla como dato primario. Al asentar esta superficie sobre la superficie dato correspondiente, en el dispositivo de inspección, su movimiento queda restringido a dos grados de libertad.

Dato secundario (B): a continuación la brida doble es fijada por el barreno del extremo izquierdo. Esto se puede lograr físicamente usando un perno en condición de material máximo (apéndice A, 7). El centro de este barreno nos servirá además como origen de coordenadas. La brida queda restringida ahora a un solo grado de libertad, con movimiento tangencial (figura 3.2.a, página siguiente).

Dato terciario (C): si ahora localizamos el barreno de la extrema derecha por medio de otro perno en MMC, la brida quedará fija en una posición invariable. Ahora bien, como este segundo perno tiene como única función impedir el movimiento tangencial, resulta conveniente emplear un perno prismático, el cual solamente hace contacto en los puntos d1 y d2 (figura 3.2.b); la distancia entre d1 y d2 es igual a MMC. De este modo evitaremos problemas de interferencia debidos a la tolerancia de distancia entre los barrenos B y C¹, que es ± 0.25 mm.

3.2.2. Posición de los barrenos de la brida doble (Prueba 1).

Cuadro de control de característica:

	$\varnothing 0.5$ (M)	A	B (M)	C (M)
---	-----------------------	---	-------	-------

Interpretación:

Los barrenos de la brida doble se localizan tomando como referencia el barreno dato B; la posición de cada uno está acotada por el sistema de coordenadas (cfr. figura 2.11). Para establecer los datos B y C emplearemos,

¹ Si en vez del perno prismático empleásemos un perno cilíndrico normal, las piezas tenderían a atorarse al insertarlas en los barrenos dato.

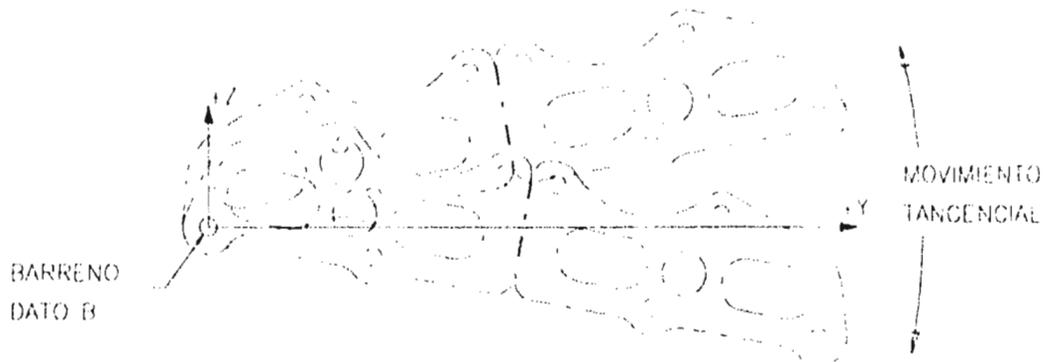


Figura 3.2.a. Restricción del movimiento de la brida doble a un grado de libertad

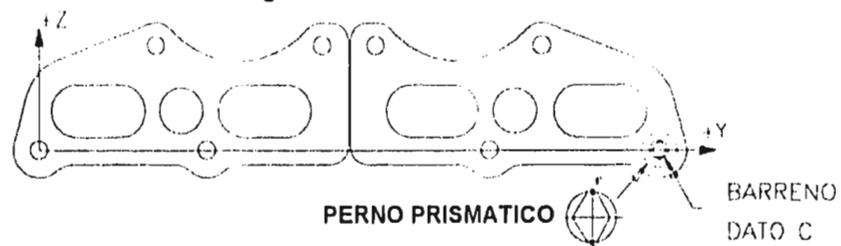


Figura 3.2.b. Restricción del movimiento de la brida doble a cero grados de libertad

respectivamente, un perno cilíndrico y otro prismático con diámetro en MMC, es decir, 10 mm, que es el diámetro mínimo de los barrenos.

Todos los barrenos, salvo B y C que son datos, tienen una tolerancia de posición (apéndice A, 10-13) con diámetro 0.5 mm en MMC. El barreno C, por estar sobre el eje Y, tiene como zona de tolerancia una línea de longitud 0.5 mm.

La condición virtual (apéndice A, 16) de este arreglo de barrenos es, por tanto, 9.5 mm ($10 - 0.5 = 9.5$).

Intención de diseño:

Los barrenos de la brida doble se van a insertar en otros tantos pernos roscados que van fijos a la cabeza de cilindros; la brida quedará asegurada a la cabeza por medio de tuercas con rondana de seguridad. Los pernos roscados son de rosca métrica M8 x 1, cuyo diámetro máximo permisible es de 8 mm. Ahora bien, hemos dicho que la condición virtual de los barrenos es de 9.5 mm; por tanto, si los pernos roscados son de 8 mm, éstos podrán tener una tolerancia posicional considerable. Suponiendo que ésta fuera de $\varnothing 0.7$ mm en MMC, la condición virtual de los pernos sería de 8.7 mm.

En conclusión, si se diera el caso extremo de que tanto los barrenos como los pernos estuviesen en su respectiva condición virtual, aún así quedaría entre ellos una holgura de $9.5 - 8.7 = 0.8$ mm. No deja de llamar la atención que el diseñador del múltiple haya especificado barrenos tan grandes para la brida doble, con la consiguiente holgura, siendo que el objetivo es que los ductos de la cabeza de cilindros queden alineados con los ductos del múltiple.

Criterios de aceptación de la característica:

Tomando en cuenta la condición virtual, la posición de los barrenos de la brida doble puede ser inspeccionada insertando la brida en un arreglo de ocho pernos teóricamente perfectos; de hecho este arreglo formará parte de nuestro dispositivo de inspección. El arreglo de pernos quedaría de la siguiente manera:

Barreno B: perno cilíndrico de $\varnothing 10$ mm.

Barreno C: perno prismático de $\varnothing 10$ mm en los extremos.

Los demás barrenos: pernos cilíndricos de 9.5 mm.

En este momento cabe hacer una observación interesante: los barrenos B y C han sido escogidos arbitrariamente como características dato, pero desde el punto de vista de intención de diseño no necesitan más que satisfacer las mismas condiciones de los demás barrenos, es decir, satisfacer la condición virtual de 9.5 mm para poder insertarse sin problemas en los pernos roscados. ¿No bastaría entonces con que todos nuestros pernos de inspección fueran cilíndricos de 9.5 mm (pues resulta más fácil producir 8 pernos iguales entre sí)?

La respuesta es que si solamente nos interesara inspeccionar la brida, sí bastaría con eso. Pero los barrenos B y C tienen además la función de establecer el origen de coordenadas y los ejes coordenados de la pieza, es decir, las posiciones de todos los componentes del dispositivo de inspección van a ser localizadas a partir de los pernos dato donde entran los barrenos B y C. Ahora bien, un requisito de la Norma de Calidad sobre dispositivos de inspección es que **"todos los dispositivos de inspección final se diseñarán considerando la parte en su posición dentro del automóvil"** (Norma de Calidad, C, 7). En este caso, cuando se monta el múltiple de escape en el motor, la brida doble queda fija sobre una superficie vertical. Por tanto, en el dispositivo de inspección, la placa con los ocho pernos debe quedar también vertical, a fin de que el múltiple montado en el dispositivo quede en la misma posición que va a tener una vez montado en el auto. Si hiciéramos los pernos dato de 9.5 mm, ocurriría que una brida perfecta, que tuviera todos sus barrenos en posición perfecta, se "colgaría" y quedaría desplazada 0.5 mm del origen, como se muestra en la figura 3.3. Con ello, la inspección de las demás características geométricas del múltiple daría resultados erróneos.

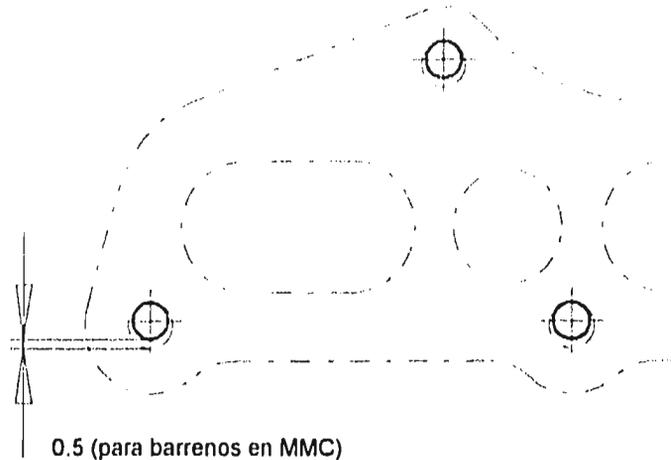


Figura 3.3. Empleo de pernos dato de 9.5 mm: la brida doble queda desplazada

Por otra parte, si la condición MMC de los barrenos es 10 mm, no hay inconveniente en prescribir que los pernos dato sean de 10 mm. La razón está en el llamado "principio de Taylor" (apéndice A, 18), que establece que una característica en MMC debe tener forma perfecta. Conforme a este principio, un barreno de 10 mm puede entrar siempre en un perno de 10 mm. Si no ocurre así, ello significa que el barreno presenta una desviación de forma, y se considera defectuoso conforme al principio de Taylor. Solamente en la medida en que el barreno se aleja de MMC, se acepta una desviación en la forma de éste.

Nota: a partir de este momento, se entiende que todas las dimensiones de distancia son en milímetros, salvo otra indicación.

3.2.3. Posición de los bujes M6 x 1 (Prueba 2).

Cuadro de control de característica:

	Ø1 (M)	A	B (M)	C (M)
--	--------	---	-------	-------

Interpretación:

El diámetro menor MMC de la rosca interna M6 x 1 es de 4.917 mm, lo que genera una condición virtual de $4.917 - 1 = 3.917$ mm, y permite una variación en la posición del buje, en la forma que se muestra en la figura 3.4.

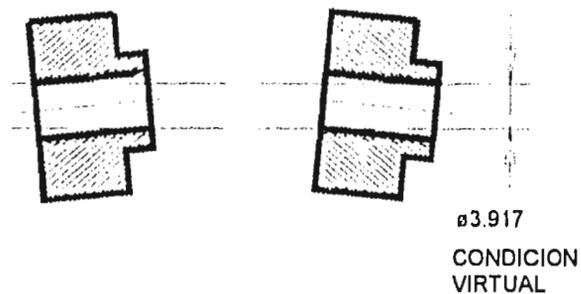


Figura 3.4. Condición virtual de los bujes M6 x 1, y posibles variaciones de posición.

Intención de diseño:

La función de los bujes M6 x 1 es servir como puntos de fijación para las tolvas aislantes de calor que cubren las ramas del múltiple. En la figura 3.5 (página siguiente) se muestra en forma esquemática el ensamble de estas tolvas. Como puede verse, los bujes tienen un pequeño vástago que debe pasar a través de las ranuras de las tolvas. Posteriormente se inserta un tornillo con rondana en el agujero M6 x 1, y con eso las tolvas quedan fijas por la parte inferior. La tolerancia de posición tiene como objeto, en este caso, asegurar que el vástago coincida con la ranura de la tolva para evitar dificultades en el ensamble.

Criterios de aceptación:

La posición de los bujes se puede probar por medio de un perno deslizante, con el diámetro correspondiente a la condición virtual ($\varnothing 3.917$). Si el buje está dentro de posición, el perno debe entrar en el agujero M6 x 1 sin dificultad.

Nota: la explicación de la Prueba 3 se verá hasta el apartado 3.2.7, ya que requiere explicar previamente algunos conceptos que veremos en los próximos apartados.

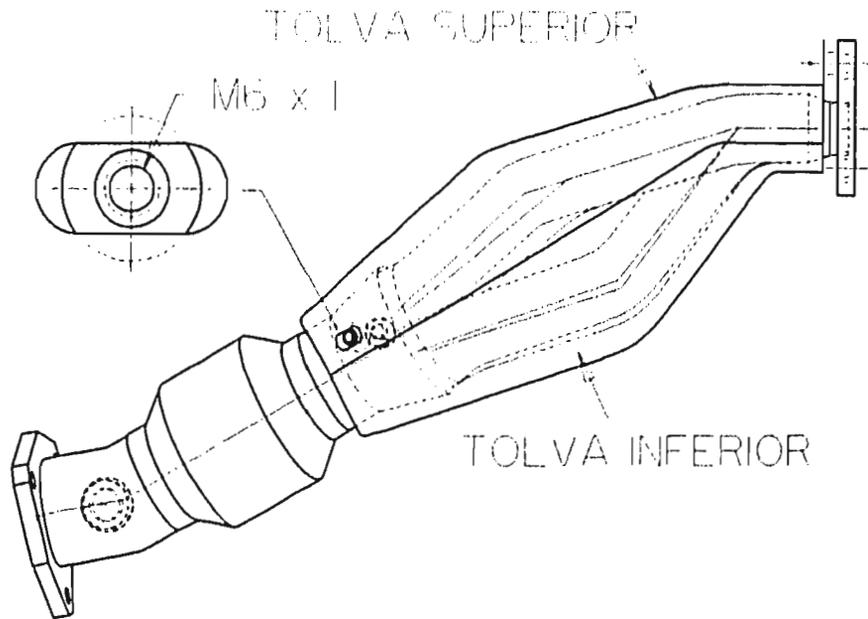


Figura 3.5. Fijación de las tolvas de calor mediante los bujes M6 x 1

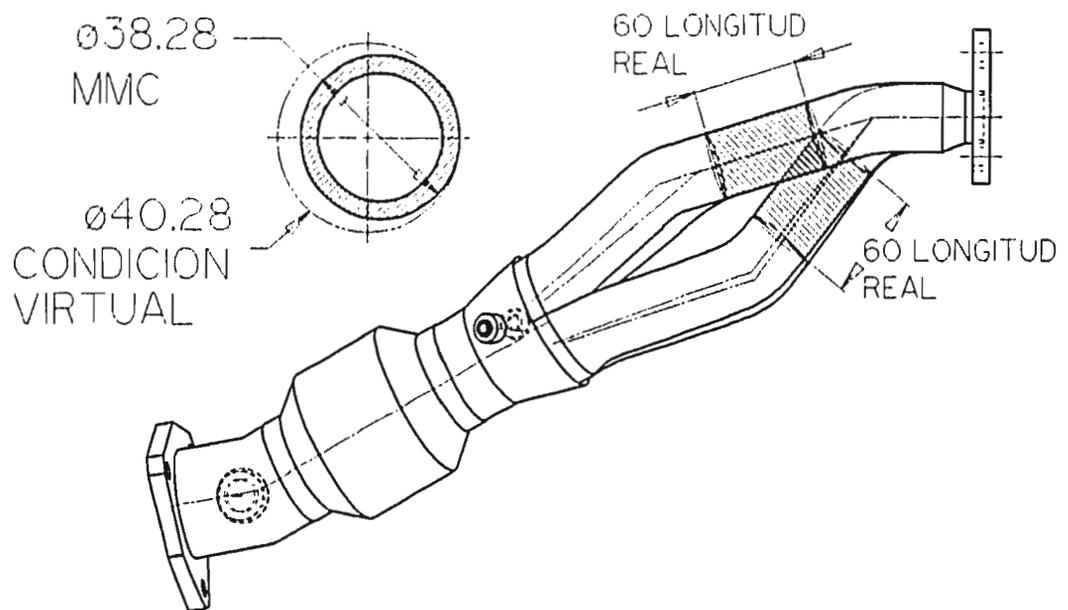


Figura 3.6. Condición virtual de las ramas, y zonas a inspeccionar

3.2.4. Posición de los ejes de las ramas 1 a 4 (Prueba 4).

Cuadro de control de característica:

	Ø2 (M)	A	B (M)	C (M)
---	--------	---	-------	-------

Interpretación:

La superficie de las ramas debe quedar siempre dentro de una zona de tolerancia con diámetro igual a la condición virtual. Puesto que el diámetro máximo permisible del tubo es 38.28 conforme a su norma de fabricación, el diámetro de la zona de tolerancia es $38.28 + 2 = 40.28$, como se muestra en la figura 3.6 (página anterior).

Intención de diseño:

La ruta de las ramas se controla, en gran parte, durante la fabricación de éstas. Una vez que se dobla el tubo inoxidable a la forma de la rama, éste debe ser probado en un dispositivo de inspección, en el cual cada tramo del tubo doblado debe entrar en una pieza en forma de herradura. Si el ángulo de doblez es incorrecto, el tubo no entrará en el dispositivo. Por eso, las ramas que se envían al proceso de ensamble final del múltiple son siempre correctas en su forma y dimensiones.

Sin embargo, pueden darse pequeñas desviaciones de posición al momento de armar el múltiple en el dispositivo de soldadura. Por esta razón, se exige inspeccionar la trayectoria de las ramas en el múltiple ya soldado. El principal riesgo que presenta una trayectoria incorrecta de la rama, es hacer que el tubo entre en contacto con la tolva aislante, lo cual provocaría el calentamiento de ésta y, peor aún, un ruido inaceptable durante la marcha del motor.

Criterios de aceptación:

Para facilitar la inspección de la trayectoria de las ramas, se estudió con el cliente cuáles eran las zonas donde efectivamente había riesgo de contacto entre las ramas y las tolvas. Después de examinar algunos prototipos, se concluyó que las zonas que presentaban ese riesgo eran las que se muestran sombreadas en la figura 3.6. Se acordó por tanto que el dispositivo de inspección final únicamente debía probar la trayectoria en esas zonas. La solución propuesta para hacer esa prueba se reserva al capítulo 6, que trata sobre el diseño del dispositivo.

3.2.5. Posición del ducto de salida del múltiple, eje J-K (Prueba 5).

Cuadro de control de característica:



Interpretación:

El eje J-K debe quedar siempre dentro de una zona de tolerancia cilíndrica de diámetro 4. Ahora bien, esta tolerancia geométrica está siendo aplicada al diámetro interior del tubo de salida, que en MMC es igual a $56 - 0.75 = 55.25$. Por tanto la condición virtual, para la pared interior del tubo, tiene un diámetro de $55.25 - 4 = 51.25$.

Intención de diseño:

En este caso tenemos una tolerancia de posición relativamente amplia. La razón es que el tubo de salida del múltiple va soldado a una cabeza flexible. Por su misma naturaleza, la cabeza flexible en estado libre (es decir, sin aplicar ningún tipo de carga al múltiple) puede presentar ligeras deformaciones que hacen que el ducto de salida quede fuera de su posición teórica. Esta desviación de posición normalmente no representa un problema, ya que la cabeza flexible está diseñada para sufrir constantes deformaciones debidas a cargas de tracción, compresión, flexión y torsión que se presentan durante la marcha del vehículo.

Sin embargo, debe existir un límite máximo para la deformación de la cabeza en estado libre ya que, si se rebasa este límite, pueden verse afectadas las dimensiones del sistema de escape completo. La tolerancia de posición especificada por el cliente para el ducto de salida del múltiple, es por tanto de Ø4 en MMC.

Criterios de aceptación:

La posición del ducto de salida se puede probar mediante un perno deslizante, cuyo eje esté en posición verdadera (i.e. la posición teórica del eje J-K), y que tenga el diámetro de la condición virtual, 51.25 (figura 3.7.a, página siguiente).

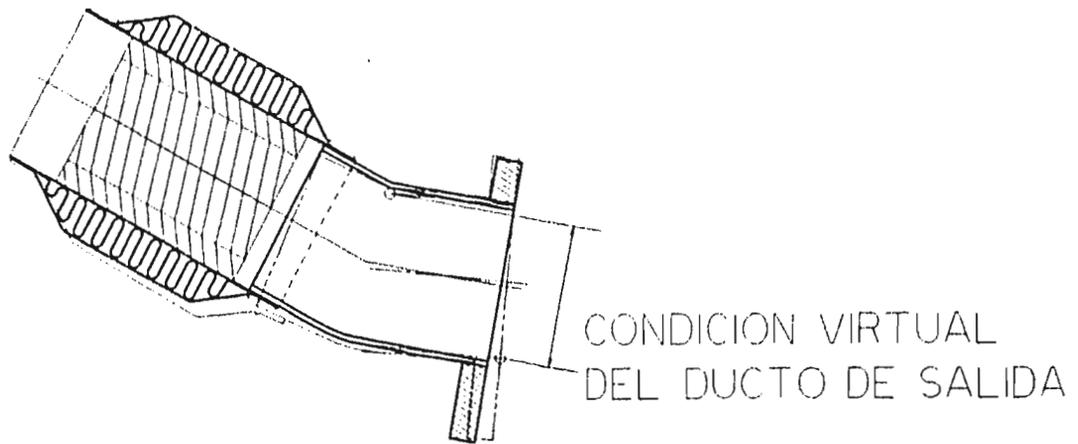


Figura 3.7.a. Condición virtual del eje de salida del múltiple (J-K)

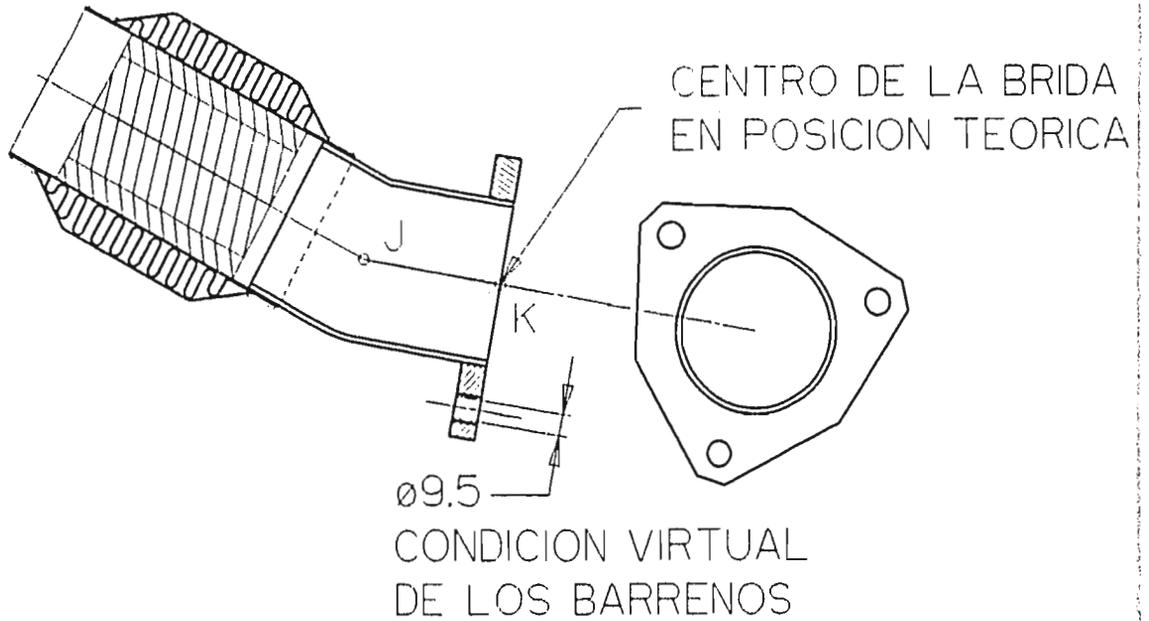


FIG. 3.7.b. Condición virtual de los barrenos de la brida triangular

3.2.6 Posición de los barrenos de la brida triangular (Prueba 7).

La inspección de estos barrenos presenta dificultades debidas a la movilidad de la cabeza flexible. El dispositivo de inspección diseñado originalmente se limitaba a probar la posición de los barrenos sin probar la posición del eje de salida del múltiple, pues los barrenos tenían una tolerancia de posición mucho más cerrada que aquél, y por tanto parecía superfluo inspeccionar la posición de dicho eje. Los barrenos se inspeccionaban por medio de tres pernos deslizantes; se había especificado una tolerancia de posicional de $\varnothing 0.5$ para los barrenos, de modo que los pernos se fabricaron a $\varnothing 9.5$. Sin embargo, con frecuencia surgían dudas acerca de la validez de la prueba. La razón era que, a veces, las piezas que se inspeccionaban tenían los barrenos de la brida triangular ligeramente desviados de su posición teórica. Pero como la cabeza flexible le da cierta movilidad a la brida, los pernos lograban "centrar" a los barrenos y entraban en éstos. Ahora bien, si los pernos deslizantes tienen que desviar a la brida para poder entrar en los barrenos, la prueba se puede interpretar de dos maneras:

— La posición de los barrenos es incorrecta (porque la cabeza flexible, o bien la brida triangular, quedaron soldadas fuera de posición) y por tanto la pieza es mala.

— Los barrenos en estado libre están fuera de posición, pero resulta válido aprovechar la movilidad de la cabeza flexible para llevarlos a la posición correcta. Por tanto si los pernos logran entrar, la pieza se puede considerar buena.

¿Cuál es el límite entre una condición y otra? En el dispositivo original no había manera de establecerlo. Para resolver el problema hemos decidido que, en el nuevo dispositivo de inspección, efectivamente se le deben hacer dos pruebas diferentes a la brida triangular:

a) Posición del centro de la brida en estado libre. Es la prueba descrita en el apartado 3.2.5.

b) Posición de los barrenos respecto del centro de la brida, con la brida fija en su posición teórica. Es decir, una vez que hemos inspeccionado la posición de la brida en estado libre, debemos mover a la brida a su posición teórica, y dejarla fija en esa posición antes de inspeccionar los barrenos.

La prueba a) nos sirve para descubrir defectos en la posición de la brida triangular que sean causados a su vez por una posición incorrecta de la cabeza flexible o del codo de salida al momento de ser soldados. La prueba b) nos sirve para descubrir errores que se hayan cometido al soldar la brida triangular en sí. Los errores en la prueba b) serían principalmente errores en el ángulo de rotación de la brida triangular.

Al hacer la prueba b), estamos empleando ahora el eje de salida del múltiple (J-K) como un dato adicional, al que llamaremos "D".

Cuadro de control de característica:

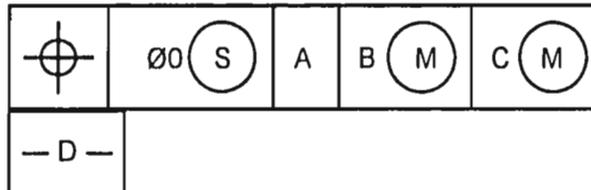


Interpretación:

Los barrenos de la brida triangular tienen una tolerancia posicional de Ø0.5 con respecto a los datos A, B y D, de modo que la condición virtual de cada agujero es un cilindro de Ø9.5 con su eje en posición teórica. Pero al hacer esta prueba, el múltiple de hecho seguirá estando fijo en el dato C. Ahora bien, si el múltiple fuera totalmente sólido, al añadir el dato D se produciría un problema de localización redundante². Pero como existe la cabeza flexible, el dato D se puede generar independientemente de los datos A, B y C, y no hay riesgo de localización redundante.

Para generar el dato D, advertimos que en la especificación de posición del centro de la brida existe una nota añadida (cfr. figura 2.12):

PARA INSPECCIONAR POSICION DE LOS BARRENOS M1, M2, M3, EMPLEAR DISPOSITIVO QUE GENERE LA CONDICION



Esta nota significa que para generar el dato D debemos llevar el centro de la brida exactamente a su posición teórica (eje J-K). Esa condición la hemos expresado al indicar que el dato D tiene tolerancia posicional cero para cualquier tamaño de característica; en otras palabras, el dato D nunca tendrá tolerancia posicional.

Una vez generado el dato D, procederemos a probar la condición virtual de los barrenos que, como ya dijimos, es Ø9.5 (figura 3.7.b, página 50).

² Se dice que una pieza tiene localización redundante cuando tiene más zonas de apoyo de las que se necesitan para impedir su movimiento. Por ejemplo, cuando se intenta localizar una pieza barrenada por medio de tres pernos, uno de los pernos resulta redundante. En esos casos, la pieza tiende a atorarse cuando se trata de insertarla en los pernos.

Intención de diseño:

La brida triangular sirve para unir el múltiple al siguiente elemento del sistema de escape, que es el convertidor catalítico. Este va dotado de una brida triangular casi idéntica; ambas bridas se unen por los barrenos mediante tres tornillos con tuercas de seguridad. La tolerancia posicional de los barrenos sirve principalmente para controlar la posición angular de los mismos. Si éstos quedaran "girados" en exceso, el convertidor catalítico quedaría a su vez con una posición angular incorrecta, lo que podría provocar que el convertidor tuviera un contacto no deseado con otras partes del automóvil.

Criterios de aceptación:

La posición de los barrenos se inspeccionará, nuevamente, por medio de tres pernos retráctiles de diámetro 9.5. Estos deberán pasar libremente a través de los barrenos. El pequeño reto consiste en cómo generar el dato D, puesto que nuestro dispositivo debe ser también capaz de hacer la prueba descrita en el apartado 3.2.5.

3.2.7. Posición del buje roscado M18 x 1.5 (Prueba 3)

Cuadro de control de característica:



Interpretación:

Como el buje M18x1.5 va soldado al codo de salida, una vez que el múltiple de escape queda instalado en el automóvil, el movimiento de la cabeza flexible permite que este buje tenga un desplazamiento considerable. Sin embargo, el cuadro de control de característica nos pide inspeccionar la posición del buje empleando el dato D, es decir, estando el codo de salida en posición teórica. Bajo estas condiciones, la tolerancia posicional en MMC del buje es Ø1. Para una rosca interna M18 x 1.5, el diámetro mínimo de la rosca es 16.376. Por lo tanto la condición virtual del agujero roscado será $16.376 - 1 = 15.376$.

Viendo el cuadro de control de característica se entiende también por qué tuvimos que posponer, hasta ahora, el análisis de la tolerancia posicional del buje M18x1.5: hacía falta saber cómo y por qué se genera el dato "D".

Intención de diseño:

El buje roscado sirve para acoplar en él un sensor que detecta el contenido de oxígeno molecular en los gases de escape. La tolerancia posicional del buje sirve para controlar las posiciones extremas del sensor, como se muestra en la figura 3.8 (hemos exagerado un poco la diferencia de posiciones para darle claridad a la figura). De este modo se evita que el sensor, y en especial los cables que posee, entren en contacto con alguna parte del automóvil, lo cual podría inutilizar al sensor en poco tiempo.

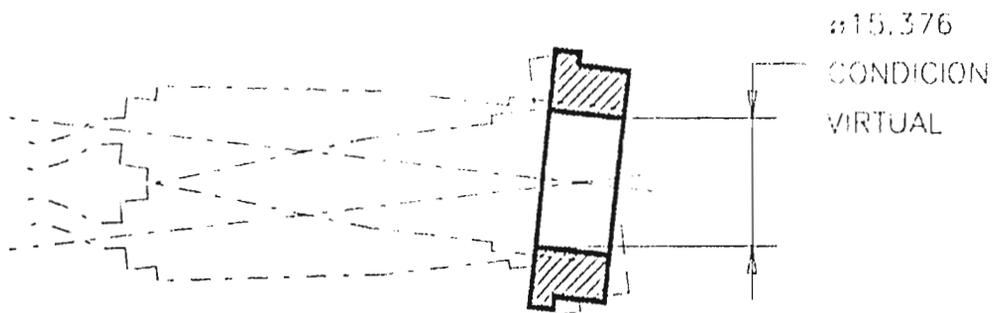


Figura 3.8. Condición virtual del buje M18x1.5, y variaciones de posición del sensor de oxígeno

Criterios de aceptación:

También aquí emplearemos un perno deslizante de diámetro igual a la condición virtual (15.376). El perno debe poder entrar libremente en el agujero roscado para que la posición del buje se considere correcta.

3.2.8. Longitud total del múltiple de escape (Prueba 7).

Como se muestra en el cuadro de características geométricas a controlar (figura 3.1), la longitud total de la pieza la vamos a controlar especificando que la coordenada X del punto K (centro de la superficie de la brida triangular) tendrá una tolerancia de ± 1 mm (figura 3.9, página siguiente). No se trata por tanto de una característica geométrica, sino de una característica de tamaño. Sin embargo, resulta particularmente importante que el dispositivo de inspección controle la longitud del múltiple, ya que ésta tiene influencia sobre las dimensiones finales del sistema de escape completo. Si la longitud del múltiple resulta inadecuada, pueden presentarse los problemas que describimos en el capítulo 1, apartado 1.6.1.(e).

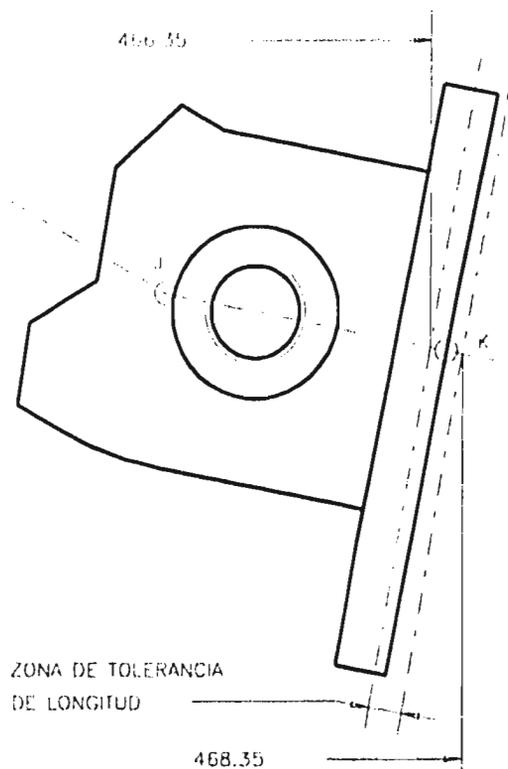


Figura 3.9. Tolerancia de longitud del múltiple de escape

3.3. Requisitos adicionales de diseño del dispositivo: diversas necesidades de los clientes

Hemos examinado ya las características geométricas del producto que debe inspeccionar nuestro dispositivo y, por tanto, hemos establecido con precisión cuál es el servicio que queremos obtener de ese instrumento. Pero existen muchos otros objetivos que nuestro diseño debe cumplir a fin de garantizar la satisfacción del cliente. Hay que considerar, por ejemplo, el precio que el cliente está dispuesto a pagar por el dispositivo, los plazos que se deben cumplir en el proyecto previo al arranque de producción del múltiple, el volumen de producción previsto, y otros factores.

De acuerdo con Sidney F. Love, en cualquier proceso de diseño el primer paso es adquirir conocimiento profundo de las necesidades del cliente, de los recursos —tangibles o intangibles— que él está dispuesto a dar a cambio de nuestro producto, y del tiempo en el que requiere recibir ese producto³. Para realizar este

³ Cfr. Love, Sidney F. "Planning and Creating Successful Engineered Designs". Advanced Professional Development, Inc. 2nd. Edition, 1986.

análisis, echamos mano de un concepto que se hallaba contenido en el Manual de Aseguramiento de Calidad de nuestra empresa. En este manual, "Cliente" se define escuetamente como

"Cualquiera que recibe nuestro trabajo".

Un breve análisis de este concepto, que es deliberadamente más amplio que el de "comprador", nos hizo concluir que nuestro dispositivo iba a ser recibido por cinco clientes diferentes, y debía por tanto satisfacer a todos ellos. Tres de ellos pertenecen a la empresa cliente:

— El Ingeniero de Calidad Exterior. Tiene la misión de certificar la calidad de la construcción y, especialmente, la precisión dimensional del dispositivo de inspección.

— El Comprador de Material Productivo. Su interés es comprar partes automotrices (los múltiples en este caso) para la línea de montaje, que vayan certificadas dimensionalmente; necesita tener los primeros lotes a tiempo para el inicio de producción, y tener garantizado el suministro en todo momento.

— El Comprador Técnico. Se encarga de estudiar y acordar con el cliente cuáles son los herramientas necesarios para la producción de la parte automotriz, entre los cuales va incluido el dispositivo de inspección, y es además el responsable de autorizar el pago de éstos.

El resto forman parte de nuestra propia compañía:

— El Metrólogo responsable de hacer la verificación dimensional del dispositivo. De acuerdo con la Norma de Calidad, el Ingeniero de Calidad Exterior del cliente debe dar el visto bueno al dispositivo de inspección, pero la verificación dimensional se debe realizar en las instalaciones del proveedor y debe correr a cargo de su propio personal de Metrología. Las pruebas que se hagan obviamente deben resultar a satisfacción del Ingeniero de Calidad Exterior.

— El Inspector de Calidad en planta que va a operar el dispositivo. El dispositivo debe ser diseñado en forma tal que pueda ser operado con facilidad, rapidez y sin errores.

Para establecer los objetivos de diseño hicieron falta juntas de definición adicionales con los clientes que acabamos de mencionar. Hacemos a continuación un sumario de los objetivos acordados en estas juntas, según quedaron establecidos en las minutas. Algunos resultan muy precisos; otros, más amplios, requerirán que posteriormente se les dé una definición más rigurosa. Además, muchos objetivos necesitarán a su vez dividirse en objetivos subordinados:

a) Tiempo de prueba del producto:

Para determinar el tiempo en que se debe realizar la inspección final del producto, es necesario considerar el volumen de producción esperado, y determinar la capacidad de producción del proceso en piezas por unidad de tiempo.

La demanda que el Comprador de Material Productivo pronosticó para el nuevo modelo de auto fue de 2,000 unidades por mes. Por otra parte, las experiencias de las pruebas de producción del múltiple permitieron establecer la capacidad del proceso en 34 segundos por pieza. Esta capacidad es igual a la duración de la operación más lenta del proceso, que es la soldadura de los puertos ovales de la brida doble (cfr. figura 1.4); para esta operación solamente se cuenta con una estación de soldadura.

La capacidad del proceso es por tanto de $1.76 \text{ piezas/min} = 105.8 \text{ piezas/hora}$. Si consideramos que la duración real de un turno de producción (una vez eliminados los tiempos de herramientación, pausas del operador, limpieza, etc.) es de 7.5 horas, obtenemos que para producir un lote de piezas equivalente a un mes de consumo del cliente, harían falta $2000/105.8/7.5 = 2.52$ turnos de producción para cubrir la demanda mensual de piezas. Este resultado llevó al Ingeniero de Control de Producción y al Jefe de Aseguramiento de la Calidad a concluir que para producir el múltiple de escape, su mejor opción sería programar una sola corrida de producción al mes, con duración de 2.52 turnos, a fin de minimizar los cambios de herramienta y los ajustes de parámetros de soldadura en los robots. Esta corrida requeriría de un Inspector de Calidad dedicado en cada turno, para operar el dispositivo de inspección.

En conclusión, si el producto se va a fabricar en 2.52 turnos ininterrumpidos al mes, durante los cuales se trabajará a la capacidad del proceso, resulta que el tiempo de la prueba deberá ser igual o menor que la capacidad del proceso, es decir, 34 segundos por pieza. Desde luego, es inadmisibles que la prueba rebese este tiempo, pues de inmediato se convertiría en un cuello de botella, y estaríamos disminuyendo la capacidad del proceso con una operación necesaria pero que no agrega valor al producto.

b) Costo del dispositivo de inspección:

El proyecto de fabricación del múltiple de escape fue desarrollado en conjunto con los socios canadienses de la empresa. A ellos les correspondió el diseño y fabricación de las herramientas de producción de la parte: herramientas de corte, doblado y conformado de tubos, troqueles y dispositivos para soldadura. A nuestra compañía le correspondió el diseño y fabricación del dispositivo de inspección final, y del dispositivo para pruebas de hermeticidad de la soldadura,

así como las pruebas de producción, la fabricación de muestras iniciales y la elaboración de las hojas de proceso e inspección para el personal de Producción.

Aunque el dispositivo de inspección sería desarrollado en México, su cotización fue negociada directamente entre el personal de Canadá y el Comprador Técnico, y se realizó con base en los precios del mercado de herramientas canadiense. Como resultado, el presupuesto asignado para el desarrollo y construcción de nuestro dispositivo fue de 12,500 dólares americanos. La experiencia obtenida con el primer dispositivo de inspección fue que habíamos conseguido un presupuesto extremadamente holgado, por lo cual tampoco enfrentaremos especiales restricciones de costo para este nuevo diseño.

c) Tiempo para el diseño y fabricación del dispositivo de inspección:

El plazo asignado para el proyecto original fue de seis semanas hábiles, de las cuales tres se dedicaron al diseño y tres a la fabricación y ensamble del dispositivo. En esa ocasión, los "cuellos de botella" en el proceso de diseño fueron, más que la elaboración de las soluciones de diseño, el modelado de las piezas y la elaboración de los dibujos de fabricación. Aunque en esa época nuestro departamento de Diseño de Herramientales manejaba ya el diseño y dibujo en CADD, aún no estábamos familiarizados con el modelado en tres dimensiones, lo cual nos habría ahorrado mucho del trabajo de generar vistas tanto del producto como de los componentes del dispositivo.

Para este trabajo hemos ya hecho uso del modelado tridimensional en CADD, y hemos partido de un modelo tridimensional terminado del múltiple de escape, el cual de hecho sirvió como base para elaborar los dibujos de producto que analizamos en el capítulo 2, y la mayoría de las figuras mostradas hasta ahora en esta tesis. Por lo tanto podemos contar con que el modelado del dispositivo y la elaboración de los dibujos de éste se simplificará considerablemente.

Otra consideración para el diseño del nuevo dispositivo es que emplearemos un método de diseño más sistemático, que permita generar más alternativas de solución, y resolver algunos conflictos que surgieron, con el diseño anterior, entre las necesidades de los distintos clientes. Ahora bien, el nuevo método, aunque resulta más productivo, posiblemente requiera también una inversión de tiempo mayor a la que se realizó para llegar a la solución original.

Después de considerar los hechos anteriores, nuestro objetivo en lo referente al tiempo de diseño, será tener el diseño listo nuevamente en un plazo de tres semanas, pero considerándolo esta vez como un *record* a vencer, y a la vez cumpliendo el objetivo de producir un dispositivo mucho mejor en cuanto a funcionamiento y facilidad de uso. Uno de los intereses principales al realizar este trabajo, es comprobar que el modelado tridimensional realmente permite un ahorro considerable de tiempo de dibujo, y hace posible por tanto dedicar mayor

atención a la búsqueda de alternativas y soluciones de diseño, actividad que constituye el aspecto principal de todo proceso de diseño.

d) Facilidad de lectura:

Se trata de un requisito solicitado por el personal de Aseguramiento de la Calidad. La condición "PASA" o "NO PASA"⁴ de cada pieza inspeccionada debe poder leerse fácilmente y sin ambigüedad. Este objetivo desde luego guarda relación con el tiempo disponible para efectuar la prueba.

e) Aplicación de los requisitos de construcción de la Norma de Calidad:

La Norma de Calidad contiene varios lineamientos sobre los detalles de diseño de los dispositivos: sección transversal de los soportes, diseño de ejes de guía, rectificado de superficies, etc. Estos lineamientos deben ser tenidos en cuenta para garantizar la aprobación del dispositivo por parte de Ingeniería de Calidad Exterior del cliente.

f) Revisión del dispositivo mediante máquina de medición de coordenadas (CMM):

Para conseguir la aprobación del dispositivo de inspección, el requisito principal es hacerle una verificación dimensional que resulte satisfactoria, y el instrumento para realizar esta verificación será una máquina CMM.

En la industria automotriz y, en particular, entre los fabricantes de sistemas de escape, el empleo de máquinas CMM para la inspección tanto de piezas como de dispositivos ha adquirido el carácter de norma. Estas máquinas realizan mediciones principalmente a base de localizar puntos sobre la superficie del objeto a inspeccionar. En la figura 3.10 (página siguiente) se muestra una máquina CMM típica.

La máquina de medición cuenta con un palpador que es capaz de desplazarse en las tres dimensiones. Por medio de este palpador se tocan puntos sobre la superficie de la pieza, y la máquina automáticamente detecta las coordenadas de ese punto respecto a un sistema de ejes cartesianos. Este sistema de ejes se genera a partir de las características dato de la pieza misma, o bien, de los datos de un dispositivo de localización. Por ello, en cualquier proceso de medición en una máquina CMM, el primer paso es palpar las superficies dato a fin de generar el sistema de ejes.

⁴ Estos términos constituyen una traducción libre de los términos que se emplean en inglés, al hablar de patrones de inspección, para designar las dos posibles condiciones de la pieza inspeccionada: "GO", que significa una pieza buena, y "NO GO", que significa una pieza defectuosa.

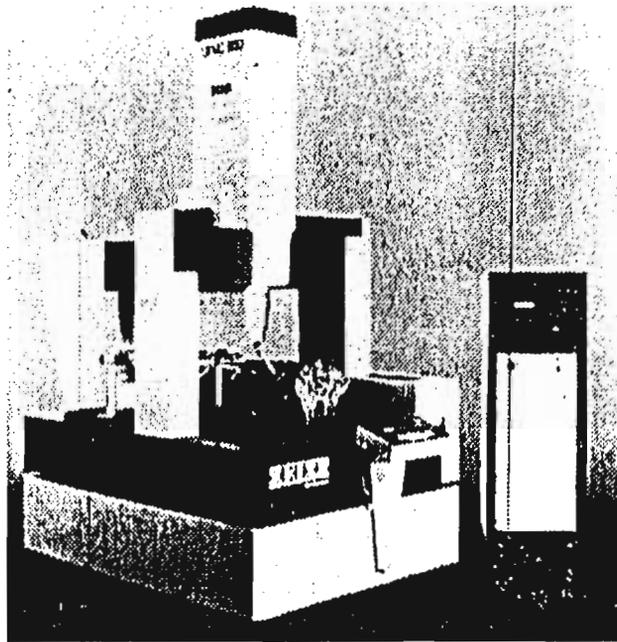


Figura 3.10. Máquina de medición de coordenadas (CMM)

Las coordenadas de los puntos palpados son alimentadas a un programa de computadora, por ejemplo GEOPAK™ de Mitutoyo, el cual permite obtener las mediciones deseadas por medio de operaciones de geometría: generación de un plano o un cilindro a partir de cierto número de puntos, intersección de una recta con un plano, distancia entre dos planos paralelos, etc.

Para obtener la aprobación del dispositivo de inspección, es necesario presentar al personal del cliente los resultados de la verificación en CMM que proporciona el programa de geometría, y mostrar que todos quedan dentro de las tolerancias de diseño del dispositivo. Para poder realizar una verificación adecuada en la máquina CMM, tanto el Ingeniero de Calidad Exterior del cliente como el Metrólogo de nuestra compañía piden que se cumplan los siguientes objetivos de diseño:

— Las superficies dato del dispositivo deben diseñarse en forma tal que mantengan al mínimo el error que se produce al generar los ejes coordenados. Con nuestro anterior dispositivo descubrimos que las superficies dato de un dispositivo pueden ser suficientes para localizar una pieza con el mínimo de variación, pero no así para generar los ejes que necesita la máquina CMM. El problema principal que tuvimos para verificar el dispositivo anterior en la máquina de coordenadas fue su baja capacidad para repetir la posición de los ejes.

— Debe existir una forma de generar los puntos teóricos del múltiple de escape en el dispositivo de inspección. Al personal del cliente le interesa de manera especial tomar la tabla de coordenadas del dibujo, y certificar que el dispositivo es capaz de generar esas mismas coordenadas (dentro de la tolerancia especificada para el dispositivo).

— En la medida de lo posible, el dispositivo debe facilitar que el palpador de la máquina CMM alcance las superficies a inspeccionar, sin necesidad de repositonar el palpador (lo cual vuelve más complejo el análisis de las coordenadas), ni de desmontar elementos del dispositivo.

g) Durabilidad y rigidez del dispositivo:

Es de gran importancia que el dispositivo sea lo bastante sólido para conservar su precisión dimensional durante el uso. Conviene tener en cuenta los puntos siguientes:

— Con alguna periodicidad se deberán desmontar componentes del dispositivo para darles mantenimiento (en especial, limpieza y lubricación). El sistema de ensamblaje por tanto debe ser de alta precisión, para garantizar que las dimensiones del dispositivo no se vean afectadas.

— Aunque el dispositivo no va a soportar cargas mecánicas importantes, existe siempre un mínimo riesgo de que algún componente sufra un daño. Por lo menos en el caso de los elementos que van a entrar en contacto con la pieza, vale la pena diseñarlos en forma tal que se facilite su reemplazo, si es que alguno se llega a estropear.

h) Repetibilidad y reproducibilidad (R y R) del dispositivo:

Se trata de un requisito puesto por el Manual de Aseguramiento de la Calidad de la compañía. R y R es una medida de la capacidad que tiene un medio de inspección para detectar errores en la parte inspeccionada. Establece que el error de medición debe mantenerse debajo de un cierto límite, pues de lo contrario no será posible distinguir entre el error del dispositivo y el error propio de la pieza. En general, un medio de inspección debe tener un margen de error menor o igual al 10% de la tolerancia total de la característica a inspeccionar. Este margen guarda relación directa, en nuestro caso, con las tolerancias de fabricación del dispositivo.

Reproducibilidad de un dispositivo es la variación en las medidas promedio tomadas por diferentes operarios, cuando usan el mismo dispositivo para medir la misma pieza⁵.

Repetibilidad de un dispositivo es la variación en las medidas cuando un operario usa el mismo dispositivo para medir la misma pieza varias veces.

El estudio de R y R de nuestro dispositivo lo plantearemos al tratar sobre la verificación dimensional del dispositivo.

⁵ Ejemplo de un problema de reproducibilidad es el del micrómetro, cuando un operador hace más fuerza sobre el instrumento que otro.

4. MÉTODO PARA EL DISEÑO DEL DISPOSITIVO.

4.1. Necesidad de un procedimiento sistemático para el diseño.

En los capítulos anteriores hemos planteado una necesidad que nos toca resolver. Hemos reunido y analizado toda la información disponible acerca del problema, y ésta ha quedado agrupada en dos áreas principales: información acerca del producto y necesidades de los diversos clientes del proyecto. Probablemente la mayoría de los diseñadores, al encontrarse en esta etapa, decidirían darse de inmediato a la tarea de elaborar el diseño, en especial si se considera que reunir la información para el proyecto ha sido un proceso largo y laborioso, y que el tiempo que queda disponible para efectuar el diseño está muy restringido.

La experiencia de trabajo en la compañía Auto Can y, en especial, el contacto con otros diseñadores dentro y fuera de la planta, nos permitió obtener algunas conclusiones sobre las prácticas de diseño comunes en la industria metalmecánica:

a) El diseñador de herramientas hace uso de tres recursos principales, en orden de importancia: experiencia de diseño, documentación sobre diseños para aplicaciones similares, y creatividad. No tratamos de negar aquí que el diseño es, primordialmente, un proceso creativo, pero es un hecho que los diseñadores en este ramo generalmente prefieren aplicar soluciones ya probadas a su problema particular, a correr el riesgo de innovar. Esta práctica suele ser preferida también por la gerencia; con ella se busca, desde luego, evitar el costo de un diseño que pueda fracasar. Pero sus limitaciones se hacen evidentes cuando el diseñador enfrenta un problema acerca del cual no existen antecedentes claros. Así ocurrió con este múltiple de escape, que demostró ser un problema de diseño poco convencional. Por otra parte, no se conocen muchos métodos, por medio de los cuales un diseñador neófito pueda suplir su falta de experiencia.

b) El procedimiento que se suele seguir para elaborar diseños pasa por cuatro etapas:

- Reunir información: muchas veces se limita a leer e interpretar el dibujo de una parte.
- Bosquejar varias alternativas de solución al problema, y seleccionar la que se juzgue mejor.
- Trabajar a detalle la alternativa seleccionada, con alguna retroalimentación hacia el planteamiento del problema.
- Elaborar dibujos de fabricación del producto diseñado.

Normalmente queda a criterio del diseñador decidir cuándo una etapa se puede dar por terminada para pasar a la siguiente, pero los límites entre una etapa y otra

no suelen ser claros. Es frecuente que ocurran idas y venidas entre una etapa y otra del proceso, lo que puede resultar perjudicial desde el punto de vista del tiempo. Si al estar ya avanzado el proyecto, se obtiene información adicional que lleve a concluir que la alternativa seleccionada no es satisfactoria, evidentemente el proyecto sufrirá un retraso.

c) Existen algunas técnicas para sistematizar el trabajo de los diseñadores, que podríamos clasificar en dos grupos:

— Técnicas orientadas al análisis del problema. Consisten en establecer procedimientos para reunir la mayor cantidad de información posible acerca del problema. Técnicas de este tipo se suelen plantear, por ejemplo, en los manuales de aseguramiento de calidad basados en ISO 9004 o en ANSI Q94, en los capítulos de calidad en el diseño. En ellos se suelen elaborar cuestionarios bastante amplios sobre las necesidades del cliente y las condiciones del proyecto (costos, plan de plazos, etc.), a fin de evitar pasar por alto cualquier dato relevante.

— Técnicas orientadas a generar ideas de diseño. Son principalmente técnicas destinadas a estimular la creatividad del diseñador, a fin de generar un buen número de alternativas de solución.

Como es de suponer, el problema de cualquiera de estas técnicas radica en que tienden a especializarse en un aspecto del proceso de diseño, pero tienen poco que decir acerca de las otras etapas del proceso.

Para resumir lo dicho en los párrafos anteriores, diremos que el diseñador pocas veces tiene oportunidad de conocer un procedimiento sistemático que abarque todos los aspectos del trabajo de diseño, desde la identificación de la necesidad del cliente hasta la comunicación del diseño al responsable de fabricarlo. Ahora bien, en la investigación realizada para este trabajo hemos podido constatar que bastantes autores ven la necesidad de mejorar los modos convencionales de realizar diseños.

Existen varias razones para buscar mejores procedimientos de diseño. En primer lugar, el diseño actual es una tarea cada vez más compleja. De acuerdo con lo comentado en el apartado 1.2 del capítulo 1, existen cada vez más expectativas acerca del servicio que ha de proporcionar cualquier producto. Por otra parte, en una época de continua innovación tecnológica, es frecuente tener que diseñar productos o máquinas que no se han fabricado antes, de modo que la experiencia previa del diseñador puede resultar de poco valor. El múltiple de escape sobre el que estamos tratando es un ejemplo de lo anterior¹.

¹ El origen de este producto fue la necesidad de ofrecer al público una versión *deportiva* de un automóvil que gozaba ya de buena posición en el mercado. El éxito del nuevo modelo dependía

Además de la mayor complejidad, los diseños actuales frecuentemente tienen asociados riesgos y costos muy altos. En el caso de productos para consumo masivo, los costos de instalar una planta de manufactura, fabricar herramientas, comprar materias primas, etc., hacen necesario que el diseño sea enteramente correcto antes de entrar a producción. Pero también existen riesgos importantes en los diseños para fabricar un solo ejemplar del producto, como ocurrió en el caso de nuestro dispositivo de inspección. Aquí la autorización para iniciar el suministro del nuevo múltiple dependía de la aprobación del dispositivo de inspección por parte del cliente. Y no haber estado listos a tiempo para iniciar la producción, por no tener aprobado el dispositivo, habría representado un auténtico desastre, no solamente económico, sino también para la reputación de nuestra compañía.

Finalmente, existe la preocupación por aumentar la eficiencia del proceso de diseño. Particularmente en el caso de la industria automotriz, se demandan tiempos cada vez más cortos para el desarrollo, pruebas y producción de nuevas autopartes, tanto si se trata de nuevos diseños como de modificaciones durante la producción. Por tanto es altamente deseable evitar cualquier retraso o error durante el proceso de diseño.

4.2. Planteamiento del método de diseño.

Para establecer el método de diseño que voy a aplicar a este problema, me he basado en el trabajo de dos autores, Nigel Cross y Sydney F. Love.

Cross propone un método integral que abarca todas las etapas de un proceso de diseño². Su modelo es una síntesis de varios métodos racionales de diseño. El parte de observar lo que tienen en común estos métodos, y concluye que un diseño sistemático pasa por cuatro etapas:

- a) Planteamiento del problema general.
- b) División en sub-problemas.
- c) Desarrollo de una sub-solución para cada sub-problema.
- d) Integración de la solución general.

de ofrecer un motor de potencia substancialmente mayor, y por tanto había que buscar incrementar el *caballaje* por todos los medios posibles. Pronto se descubrió que se podían ganar 5 h.p. de potencia cambiando el múltiple de escape por un diseño con mejor dinámica de flujo. Ahora bien, como se iba a tratar de un modelo de baja producción, no resultaba costeable desarrollar y fabricar un nuevo múltiple hecho de fundición. La solución más simple y económica resultó ser un múltiple de tubería soldada, dotado de un acoplamiento flexible para absorber las vibraciones propias del motor de tracción delantera: un diseño adecuado aunque poco convencional.

² Cfr. Cross, Nigel. "Engineering Design Methods". John Wiley & Sons. 1989.

La solución general es comparada con el problema general, y de este modo se cierra un ciclo, como muestra la figura 4.2.

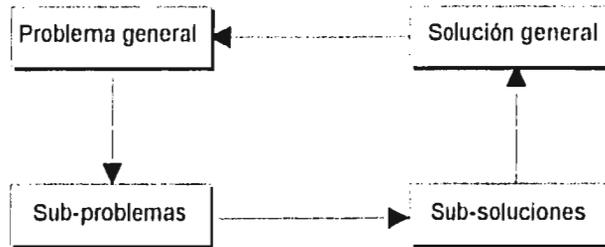


Figura 4.1. Ciclo del método racional de diseño

Para efectuar el recorrido a través de este ciclo, Cross propone dividir el trabajo de diseño en seis etapas. Cada etapa tiene una o más metas a conseguir, como se muestra en la tabla 4.1.

Etapa en el proceso de diseño	Meta a conseguir
Definir objetivos	Clarificar objetivos y sub-objetivos, y establecer las relaciones entre ellos
Establecer funciones	Concebir el diseño como un sistema con entradas y salidas. Establecer la frontera del sistema, y las funciones que debe realizar para obtener las salidas deseadas.
Especificaciones de diseño	Formular especificaciones que permitan medir el cumplimiento de los objetivos
Generar alternativas	Generar un rango amplio de posibles soluciones al diseño
Evaluar y seleccionar alternativas	Establecer una jerarquía de objetivos y comparar el valor de cada alternativa en función de los objetivos
Mejora continua	Incrementar el valor del producto para el cliente, a la vez que se reduce su costo para el fabricante

Tabla 4.1. Etapas en el trabajo de diseño (según N. Cross)

Para cada una de esas etapas, Cross plantea una técnica concreta para llevarla a cabo. Estas técnicas las estudiaremos a detalle en el apartado 4.3; por ahora me

limitaré a comentar que, para seleccionarlás, Cross se ha basado en las experiencias documentadas de un buen número de diseñadores.

Love propone un procedimiento de diseño muy similar, pero su modelo contiene dos momentos adicionales que es muy importante considerar³:

— Identificación de las necesidades del cliente. Este es realmente el primer paso en cualquier actividad de diseño, y no se puede considerar equivalente a la etapa de "definir objetivos" que Cross propone en su modelo. La identificación de necesidades consiste principalmente en obtener del cliente toda la información posible. En un proyecto como éste, el primer paso es identificar a los diversos clientes del proyecto (cfr. capítulo 3, apartado 3.3), y tener con ellos las reuniones que haga falta para conocer todo lo que esperan obtener del producto; es claro que no todas de las necesidades a satisfacer están contenidas en el dibujo del producto. La definición de objetivos, como la plantea Cross, es una etapa posterior que, como veremos más adelante, implica analizar y comparar la información recabada.

— Establecer un control sobre los compromisos de rendimiento, costo y tiempo. En todo proyecto de diseño hay implícitos tres objetivos: obtener el mejor funcionamiento posible del producto, fabricarlo al menor costo posible y tenerlo listo en el menor tiempo posible. Pero es necesario considerar que, siempre que se intenta optimizar alguna de estas variables, las otras dos se ven afectadas. Por ejemplo, si se busca obtener un producto de máximo valor en cuanto a funcionamiento, es muy probable que se requiera incrementar el tiempo del proyecto para hacer más investigación y pruebas, y éstas a su vez requerirán una inversión de dinero mayor, lo que aumentará el costo del proyecto. Ahora bien, en un mercado altamente competido, un producto superior en cuanto a funcionamiento puede fracasar fácilmente si no está listo a tiempo para responder a la demanda de los compradores. Esto es lo que puede ocurrir con un automóvil último modelo que sea presentado al mercado tres o cuatro meses después de la fecha de lanzamiento de los demás modelos, cuando mucha gente ya ha comprado automóvil nuevo. En conclusión, el diseñador debe ser capaz de establecer, en las etapas críticas del proyecto, soluciones de compromiso entre las variables de rendimiento, costo y tiempo.

Para completar el método que voy a seguir en este proyecto, he hecho además la siguiente consideración:

Los modelos tanto de Cross como de Love terminan, de hecho, con la selección de las alternativas de diseño, porque es en ese momento cuando el diseñador puede considerar que tiene resuelto su problema⁴. Pero, a partir de ese momento,

³ Cfr. Love, Sydney, *op. cit.*

⁴ Es verdad que el modelo de Nigel Cross tiene una etapa más, la de la mejora continua. Pero esta etapa no forma parte del problema de diseño en sí, pues solamente ocurre después de que se ha

el diseño tiene que ser trabajado a fondo para cumplir con las especificaciones fijadas. Además, un diseño solamente tiene valor cuando es comunicado a otros para ser realizado. Por tanto he visto necesario añadir dos etapas al proceso de diseño, como muestra la siguiente tabla:

Etapa en el proceso de diseño	Meta a conseguir
Diseño de detalle	Elaboración precisa del diseño, a fin de que cumpla con las especificaciones
Comunicación del diseño	Presentar el diseño detallado en forma adecuada para su fabricación

Tabla 4.2. Etapas adicionales para completar el proceso de diseño

No pretendo decir que los autores que hemos estudiado no hayan sido conscientes de estas dos etapas. Lo que ocurre es que ellos, para cada una de las etapas de su modelo, han propuesto una técnica a seguir que sea aplicable a cualquier situación de diseño. Pero en estas dos últimas etapas no se puede aplicar una técnica de uso general, sino que depende del tipo de producto que se va a diseñar (no se pueden emplear las mismas técnicas para diseñar circuitos integrados y para diseñar troqueles). En cuanto al dispositivo que vamos a diseñar, la técnicas que emplearemos el diseño de detalle serán, principalmente, el modelado tridimensional en CADD y el estudio de los procesos de maquinado. La comunicación del diseño será mediante dibujos de ingeniería normalizados conforme a ANSI Y14.5M-1982 (cfr. apéndice A, 1).

Hechas estas consideraciones, mostramos ahora, en la figura 4.2, el modelo completo del método de diseño que se seguirá en este trabajo. Cada una de las ocho etapas del proceso tiene un lugar dentro del ciclo de diseño, y hay etapas que están presentes en varios momentos del ciclo. Así, elaborar especificaciones de diseño sirve tanto para dividir el problema general en sub-problemas, como para buscar soluciones específicas a cada uno de los sub-problemas. La necesidad de generar alternativas se presenta no solamente cuando se busca llegar a las sub-soluciones; también cuando se intenta integrar las soluciones subordinadas en una solución general, puede resultar necesario buscar nuevas alternativas de diseño. Finalmente, el diseño de detalle, que tiene como objeto llegar a la solución general, puede volver a necesitarse después de comparar la solución general con el problema general, si se descubre que hacen falta modificaciones al diseño.

llevado a la práctica el diseño propuesto. La mejora continua forma parte más bien de una política de calidad, y puede o no ser aplicable según el producto de que se trate. Por ejemplo, es evidente que el diseño un puente vehicular, una vez aprobado y construido, difícilmente pasará por un proceso de mejora continua.

La figura mencionada indica también que debe existir una retroalimentación entre las sub-soluciones y los sub-problemas, y entre la solución general y el problema general. Es decir, las soluciones de diseño deben ser comparadas con los problemas que se pretende resolver, tanto como haga falta.

Finalmente, el control sobre los compromisos de funcionamiento, costo y tiempo debe estar presente en cada etapa, a partir del momento en que quedan definidas las relaciones entre estas tres variables. Como se muestra en la misma figura 4.2, esto ocurre normalmente cuando se han definido ya las especificaciones del diseño. En ese momento los objetivos de diseño quedan establecidos en forma cuantitativa, y es entonces cuando se le pueden asignar al proyecto valores cuantificados de funcionamiento del producto, costo y tiempo.

El compromiso entre funcionamiento, costo y tiempo se debe examinar en todas las etapas posteriores, y debe ser considerado para tomar decisiones que aseguren cumplir con los compromisos del proyecto. Incluso en la etapa de comunicación del diseño, el método a emplear debe ser escogido en función de estas tres variables. Si se trata de un diseño mecánico como el nuestro, puede ser necesario tomar una decisión entre invertir en un nuevo equipo para dibujo por computadora e impresión de planos, o simplemente programar tiempo adicional de trabajo de los dibujantes.

Las técnicas concretas que se aplicarán en cada etapa del proceso serán explicadas en los dos capítulos siguientes, que se refieren al diseño del dispositivo propiamente dicho.

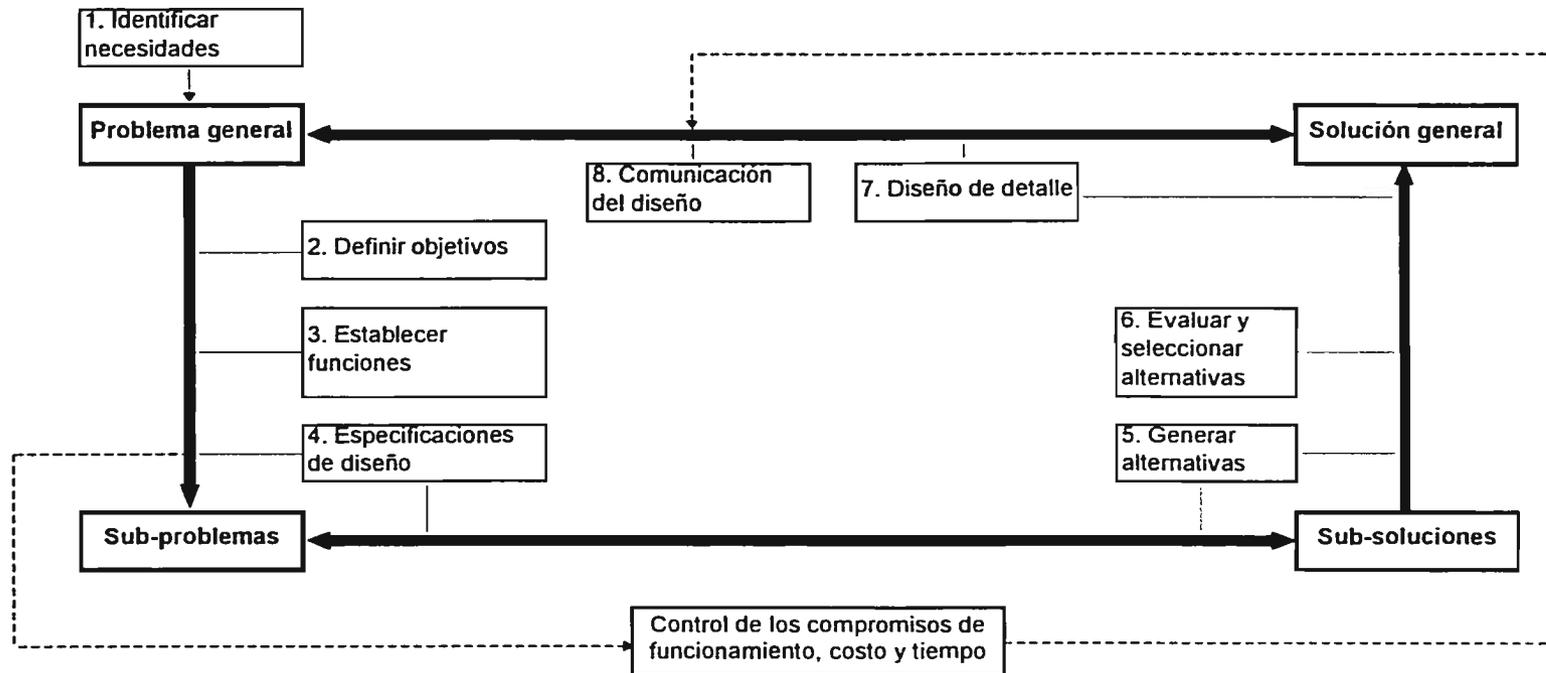


Figura 4.2. Modelo completo del método de diseño

5. ELABORACIÓN DEL DISEÑO DEL DISPOSITIVO (PARTE I).

Después de haber establecido un método sistemático de diseño, estamos preparados para pasar al tema central de este trabajo, que es la realización del diseño del dispositivo de inspección. En este capítulo cubriremos las etapas que concluyen en la solución general del problema de diseño; en otras palabras, llegaremos hasta la etapa de evaluar y seleccionar alternativas de diseño. En el capítulo 6 nos ocuparemos del diseño de detalle y de la comunicación del diseño, la cual consistirá principalmente en elaborar los dibujos de ensamble del dispositivo.

5.1. Identificación de las necesidades de los clientes.

Esta etapa consiste en recolectar toda la información necesaria acerca del producto a diseñar. En este trabajo la hemos cubierto en su totalidad en el capítulo 3. Nos limitamos simplemente a mencionarla aquí como primera parte del proceso de diseño.

5.2. Objetivos del proyecto.

Con frecuencia, las necesidades del cliente son definidas con poca precisión, o son presentadas sin seguir un orden. Sin embargo, el diseñador necesita trabajar con miras a unos objetivos claros. El resultado del trabajo de diseño es proponer una serie de medios para conseguir un fin deseado, y el fin en este caso lo constituyen los objetivos de diseño. Emplearemos el método del *árbol de objetivos* para establecer objetivos y sub-objetivos de diseño, y las relaciones entre ellos.

Método del árbol de objetivos:

1. Preparar una lista de objetivos, descritos en forma lo más concisa posible. Esta lista saldrá de la información obtenida de los clientes en la etapa anterior.

2. Ordenar la lista en grupos de objetivos de mayor nivel, y objetivos de menor nivel. Para conseguirlo, hay que hacer dos cosas con la lista anterior: (a) identificar objetivos que puedan considerarse subordinados a objetivos más generales; (b) donde sea posible, dividir los objetivos demasiado amplios en sub-objetivos más concretos.

3. Hacer un diagrama del árbol de objetivos que muestre la jerarquía y las conexiones entre los distintos objetivos. Este diagrama servirá para encaminar nuestro diseño, mostrando que se pueden conseguir los objetivos principales a base de resolver los objetivos subordinados.

Aplicación del método:

1. Lista de objetivos.

Nuestra lista de objetivos constituye un resumen de las necesidades planteadas en los apartados 3.2 y 3.3 del capítulo 3:

- a) Características a inspeccionar:
 - Características dato del múltiple.
 - Posición de los barrenos de la brida doble.
 - Posición de los bujes M6 x 1.
 - Posición de los ejes de las ramas 1 a 4.
 - Posición del ducto de salida del múltiple (eje J-K).
 - Posición de los barrenos de la brida triangular.
 - Posición del buje roscado M18 x 1.5.
 - Longitud total del múltiple de escape.
- b) Respetar tiempo de prueba del producto.
- c) Controlar costo del dispositivo de inspección.
- d) Cumplir con el tiempo para el diseño y fabricación del dispositivo de inspección.
- e) Facilidad de lectura.
- f) Aplicación de los requisitos de construcción de la Norma de Calidad.
- g) Revisión del dispositivo mediante máquina de medición de coordenadas (CMM).
- h) Durabilidad y rigidez del dispositivo:
 - Ensamblaje de alta precisión.
 - Piezas de desgaste intercambiables.
- i) Repetibilidad y reproducibilidad (R y R) del dispositivo (cfr. apéndice B).

2. Ordenar la lista en grupos de objetivos de mayor nivel, y objetivos de menor nivel.

Después de estudiar la lista anterior, hemos encontrado las siguientes relaciones entre los objetivos:

- Las características a inspeccionar las podemos dividir en dos grupos: (a) tolerancias geométricas y de tamaño, que son el objetivo principal del dispositivo,

y (b) características dato, que no son características a inspeccionar propiamente dichas, pero sí son condiciones necesarias para poder realizar la inspección. Ahora bien, la posibilidad de revisión en máquina CMM podemos considerarla no como un requisito aislado, sino como una condición que contribuye a garantizar que las características dato del dispositivo sean realmente adecuadas para fijar la pieza.

— La facilidad de lectura puede verse como un objetivo en sí mismo, en cuanto que simplifica el trabajo del operador y reduce la fatiga del trabajo, pero su finalidad principal es contribuir a que el tiempo de la prueba sea lo más bajo posible.

— Los requisitos de durabilidad y rigidez buscan garantizar que el dispositivo conserve su precisión a pesar del uso continuo. Ahora bien, esta precisión se expresa, en forma cuantitativa, como la R y R del dispositivo. Conviene además considerar durabilidad y rigidez como dos objetivos separados, pues cada uno tiene distintos objetivos subordinados. La rigidez significa que las dimensiones del dispositivo han de permanecer estables; a esta condición contribuye, como sub-objetivo, el sistema de ensamblaje de alta precisión. En cuanto a la durabilidad, dos sub-objetivos claros son el diseñar piezas de desgaste intercambiables, que ya hemos mencionado, y otro que añadimos en este momento: la facilidad de montaje y desmontaje para el mantenimiento periódico del dispositivo (que en condiciones normales se limitará a la limpieza y lubricación de las piezas deslizantes). Los tres sub-objetivos que acabamos de mencionar requieren ya de soluciones de diseño concretas; para realizarlas, hay que tener en cuenta los requisitos de construcción según la Norma de Calidad.

3. Hacer un diagrama del árbol de objetivos:

En la figura 5.1 se muestra el árbol de objetivos del proyecto, elaborado con base a las relaciones entre objetivos. Como se puede observar, los objetivos de más alto nivel se reducen a cinco:

- a) Características a inspeccionar en el producto.
- b) Tiempo de la prueba del producto.
- c) Costo del dispositivo.
- d) Tiempo para el diseño y fabricación del dispositivo.
- e) R y R del dispositivo.

Se puede hacer también una observación acerca de la Norma de Calidad. Aunque el uso de esta norma es un requisito para que el dispositivo sea aprobado, eso no es propiamente un objetivo a alcanzar, sino un medio para cumplir con diversos objetivos de rigidez y durabilidad del dispositivo. En último término, el empleo de esta norma contribuye a garantizar la R y R del dispositivo.

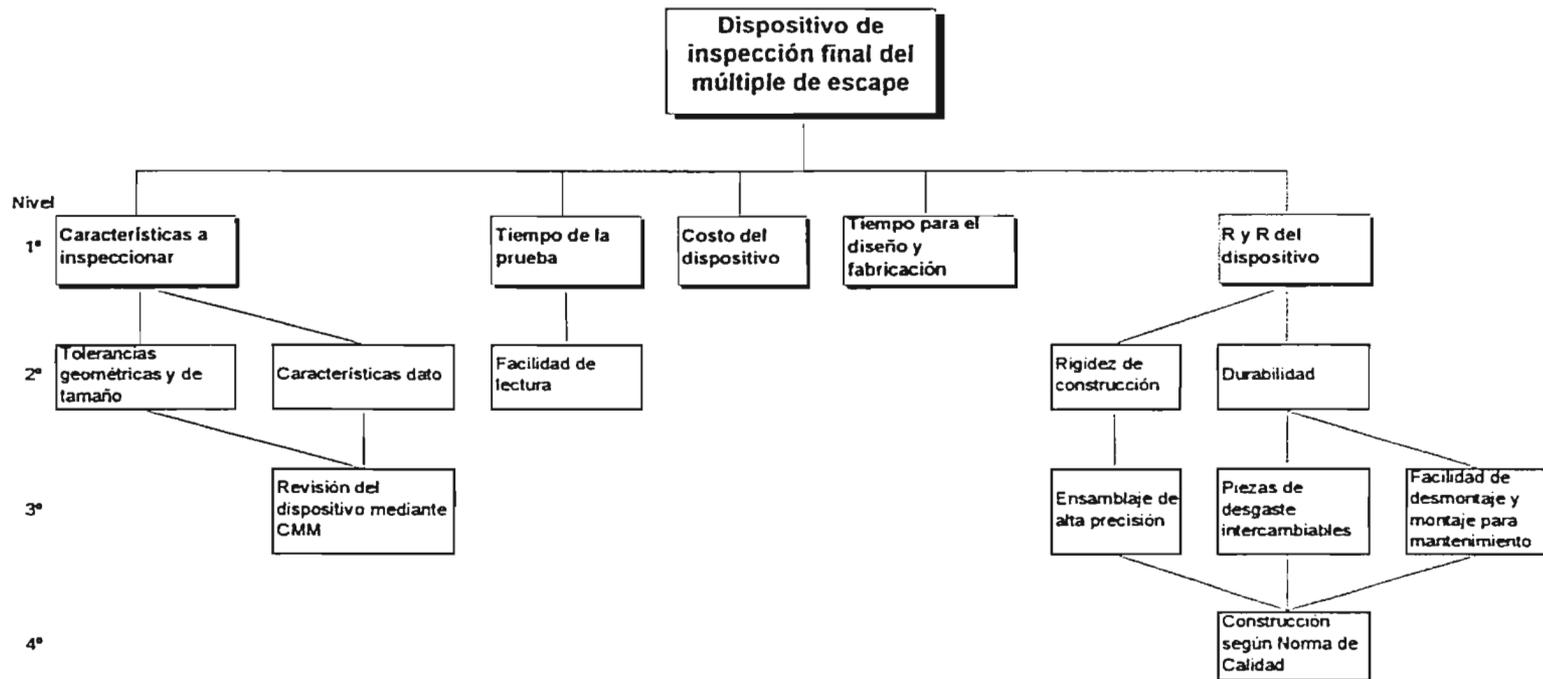


Figura 5.1. Arbol de objetivos del proyecto

5.3. Funciones del dispositivo de inspección.

Un aspecto crucial de todo problema de diseño es definir el nivel de generalidad del problema. Si pensamos en nuestro proyecto, existe una gran diferencia entre plantear el problema como "diseñar un dispositivo para inspeccionar el múltiple de escape mediante arreglos de pernos de prueba", y plantearlo como "diseñar un sistema para garantizar que los múltiples de escape suministrados al proveedor vayan 100% libres de defectos". La primera postura pide ya una solución específica al problema, pero que en la práctica puede resultar demasiado restrictiva para el diseñador. La segunda, mucho más general, está abierta a una gran variedad de soluciones que incluso pueden no involucrar el diseño de un dispositivo; el riesgo aquí sería intentar una solución tan radical que resulte impráctica, o que no convenza a nuestra gerencia o al cliente. Pero antes de comenzar a buscar alternativas desde una u otra postura, debemos resolver el dilema: se trata de definir la frontera del sistema.

Para decidir a qué nivel de generalidad se va a resolver el problema, es mejor empezar a pensar no en las posibles soluciones, sino en las funciones que queremos que realice el sistema que vamos a diseñar, independientemente de los componentes que tenga finalmente. En otras palabras, vamos a establecer primero qué hará el sistema, antes de preguntarnos qué elementos mecánicos, eléctricos, neumáticos, etc., o incluso humanos, deberá poseer. El método del *análisis de funciones* permite establecer las funciones de nuestro diseño, y determinar la frontera del sistema, es decir, el nivel de generalidad al que se va a resolver el problema.

Método del análisis de funciones:

1. Expresar la función general del sistema en forma de conversión de entradas en salidas. Siendo éste el punto de partida, conviene que esta función general sea lo más amplia posible. En otras palabras, conviene empezar con una frontera del sistema amplia, y posteriormente ir la reduciendo según convenga.

2. Dividir la función general en sub-funciones básicas. Estas sub-funciones representan todas las "tareas" que se tienen que realizar dentro de la frontera del sistema. En este punto conviene elaborar un diagrama de flujo que muestre las sub-funciones y su modo de interactuar dentro de la frontera del sistema.

3. Redefinir la frontera del sistema. Se decide en este momento cuáles funciones, en ese diagrama de flujo, formarán parte de nuestro sistema, y cuáles serán externas a él. Con base en esa decisión se reforma, si hace falta, la frontera del sistema.

4. Si es posible, buscar componentes que puedan realizar las sub-funciones y sus interacciones. Es posible que en esta etapa el diseñador pueda ya buscar alternativas de solución para las distintas sub-funciones.

Aplicación del método:

1. Expresar la función general del sistema en forma de conversión de entradas en salidas:

En este caso podríamos haber comenzado por una formulación muy general del problema, como la ya citada de diseñar un sistema para garantizar que los múltiples de escape suministrados al proveedor vayan 100% libres de defectos. Pero hay ciertas condiciones en este proyecto que son inamovibles: ante todo, el cliente quiere un dispositivo específico para su producto, que pruebe físicamente todas las características geométricas importantes de nuestro producto. Puesto que este trabajo tiene por objeto desarrollar una versión mejorada de un dispositivo que ya fue diseñado, he optado por plantear la función general del dispositivo a la inversa. En otras palabras, voy a comenzar por plantear la función general que realizaba el dispositivo original, y entonces buscar la manera de ampliarla, a fin de obtener un servicio más completo del dispositivo.

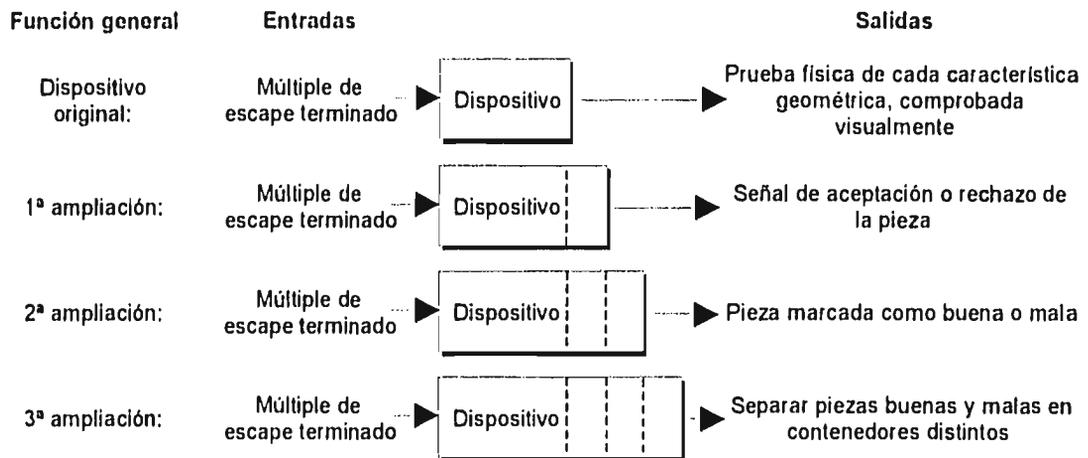


Figura 5.2. Planteamientos de la función general del dispositivo

De las ampliaciones propuestas, la primera me parece importante porque contribuye claramente a uno de los objetivos principales, que es mantener bajo el tiempo de la prueba. La experiencia del dispositivo original fue que resultaba arduo para el operador comprobar visualmente las ocho características geométricas que prueba el dispositivo. La segunda y tercera ampliaciones son interesantes, pero requieren un desarrollo considerablemente mayor y, por otra parte, no entran en las expectativas del cliente. Por lo tanto, establezco como función general del dispositivo la de generar una señal de aceptación o rechazo de la pieza (la cual no va en detrimento de que el operador, en algún caso, compruebe visualmente cada característica si se ve necesario).

2. Dividir la función general en sub-funciones básicas:

Con la experiencia del dispositivo anterior, no resulta difícil establecer las sub-funciones básicas que debe realizar. El diagrama de flujo de las sub-funciones se muestra en la figura 5.3. En ella hemos precisado un poco más las entradas y salidas del sistema.

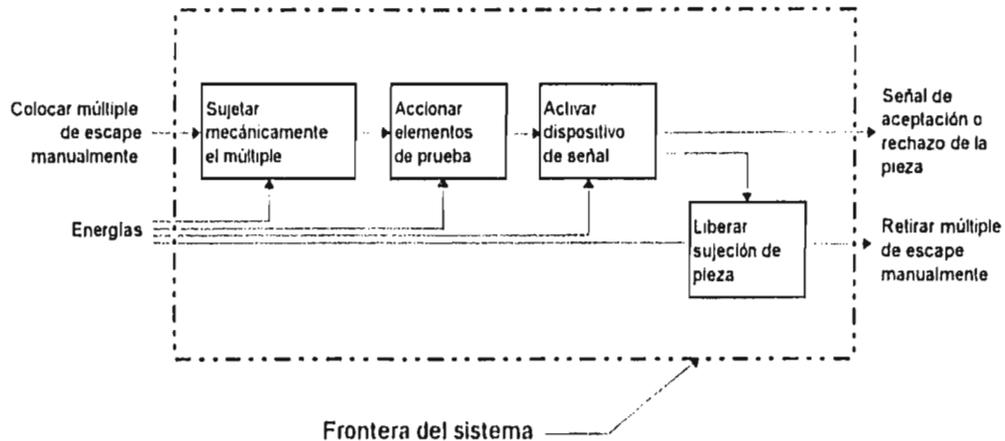


Figura 5.3. Diagrama de sub-funciones del dispositivo

3. Redefinir la frontera del sistema:

Como ésta ya fue redefinida respecto del dispositivo original, en este momento no se ve necesario hacer ningún cambio.

4. Buscar componentes para realizar las sub-funciones y sus interacciones:

Conocidas ya las sub-funciones básicas de nuestro dispositivo, en este momento podemos determinar los componentes que necesita el dispositivo para realizar cada sub-función. Cada uno de estos componentes (listados en la tabla 5.1), y su interacción con los demás, se convertirá en una pequeña tarea de diseño a resolver, como veremos en la sección de generación de alternativas. De este modo hemos dividido nuestro problema general de diseño en una serie de sub-problemas (cfr. capítulo 4, apartado 4.2).

5.4. Especificaciones del dispositivo de inspección.

Una vez que hemos fijado objetivos de diseño, y hemos determinado las funciones que debe realizar nuestro dispositivo, el siguiente paso es establecer las especificaciones de diseño, que son criterios contra los cuales mediremos si nuestro diseño cumple con los objetivos fijados, y en qué grado. Las

Sub-función	Componentes necesarios
Sujetar o liberar mecánicamente el múltiple	<ul style="list-style-type: none"> _ Superficies dato básicas (e.g. planos, pernos maestros, etc.) _ Mecanismo de accionamiento para superficies dato adicionales _ Soportes para las superficies dato _ Elementos de sujeción de la pieza (e.g. mordazas mecánicas, palancas con leva, etc.) _ Soportes para los elementos de sujeción _ Alimentación y control de energía para la sujeción
Accionar elementos de prueba	<ul style="list-style-type: none"> _ Elementos de prueba (e.g. pernos fijos o móviles) _ Elementos de guía (e.g. bujes) para los elementos de prueba _ Mecanismo de accionamiento para los elementos de prueba _ Soporte para el mecanismo completo del elemento de prueba _ Alimentación y control de energía para los elementos de prueba
Generar señal de aceptación o rechazo de la pieza	<ul style="list-style-type: none"> _ Detección de las posiciones de los elementos de prueba, una vez accionados (e.g. sensores de proximidad neumáticos) _ Generación de señal a partir de las posiciones detectadas Medios para lectura de la señal
Elementos adicionales:	<ul style="list-style-type: none"> _ Elementos para generar las dimensiones básicas del múltiple en el dispositivo (para verificación en CMM) _ Soporte general de todo el dispositivo (e.g. placa base o bastidor)

Tabla 5.1. Sub-funciones del dispositivo de inspección, y componentes respectivos

especificaciones constituyen límites dentro de los que tenemos que trabajar para garantizar que el diseño logre dar los resultados que esperamos.

No se puede hablar de un método general para definir las especificaciones del producto, ya que éstas dependen de los objetivos que tenga cada problema de diseño y, en último término, de los deseos del cliente. Las especificaciones serán más generales o más concretas según el nivel de generalidad con que el cliente haya planteado sus necesidades. Pero conviene aplicar los siguientes criterios a la hora de establecer las especificaciones:

1. Determinar, de acuerdo con el cliente, el nivel de generalidad de la solución.

2. Establecer las especificaciones con independencia de cualquier solución particular de diseño (a menos que el cliente pida expresamente algún tipo de solución, como es el caso de algunos diseños específicos que la Norma de Calidad pide utilizar). En otras palabras, las especificaciones no deben obligarnos a escoger determinados componentes para nuestro producto, de modo que impidan buscar otras alternativas.

3. Siempre que sea posible, las especificaciones se deben formular en términos cuantitativos, y de preferencia se les asignará un rango de valores aceptables, en vez de darles un único valor.

En este proyecto, el nivel de generalidad de la solución (conforme al número 1 anterior) solicitado por el cliente está suficientemente claro: se trata de fabricar un dispositivo para inspección por atributos¹ del múltiple de escape. No interesa en este caso un dispositivo para inspección por variables, pues resultaría poco práctico para inspección al 100% y, además, el trabajo de hacer mediciones al múltiple se puede realizar con mucha mayor facilidad en la máquina CMM. Tomando en cuenta lo dicho en los números 2 y 3 anteriores, hemos elaborado la siguiente lista, en la cual las especificaciones están jerarquizadas con base en el árbol de objetivos del proyecto (cfr. figura 5.1):

Especificaciones del dispositivo de inspección ordenadas por objetivos

Las especificaciones concretas se indican en **negritas**.

1. Características a inspeccionar.

1.1. Tolerancias geométricas y de tamaño.

—La **precisión del dispositivo, en sus elementos de prueba, deberá ser inferior o igual al 10% de la tolerancia a inspeccionar.**

—**Todos los pernos de prueba se maquinarán y rectificarán a \emptyset condición virtual +0.02/-0 mm.**

1.1.1. Inspección de las características geométricas mediante CMM.

—**Todos los elementos de prueba deberán incorporar algún sistema que permita fijarlos en la posición teórica**

¹ Un dispositivo o patrón para inspección por atributos es aquel en el que la pieza se inserta en el dispositivo, para verificar que los límites de tolerancia de la pieza no sean violados. Este tipo de dispositivos es conocido comúnmente como "pasa-no pasa". En cambio, un dispositivo para inspección por variables es aquél que va dotado de instrumentos de medición, a fin de cuantificar la operación de inspección. Los dispositivos para inspección por variables se emplean cuando se desea llevar un control estadístico del proceso.

de la característica que inspeccionan, a fin de poder realizar la prueba CMM (requisito de la Norma de Calidad).

—Las herraduras para inspeccionar tubos se harán de placas planas perpendiculares entre sí. Cada placa llevará un barreno al centro (esto es, a la altura del eje teórico del tubo) a fin de poder realizar la inspección CMM insertando pernos (requisito de la Norma de Calidad).

1.2. Características dato.

—El dispositivo deberá diseñarse en forma tal que el múltiple quede en la misma posición que tendrá una vez montado en el auto. Por tanto la posición de las superficies dato debe ser cumplir esta condición (requisito de la Norma de Calidad).

1.2.1. Generación e inspección de las características dato mediante CMM.

—El dispositivo debe contar con los elementos necesarios para establecer los ejes coordenados con el mínimo posible de variación (e.g. añadir barrenos para insertar esferas de referencia).

—Garantizar el acceso del palpador de la máquina CMM a las superficies dato.

2. Tiempo de la prueba.

—Duración máxima de la prueba (sólo en el caso de piezas buenas):
34 segundos.

2.1. Facilidad de lectura.

—Informar el resultado de la inspección de todas las características mediante una sola señal visible que se pueda identificar inequívocamente como "PASA" o "NO PASA". La función lógica que genera el resultado debe ser por tanto como sigue:

**RESULTADO=(Resultado prueba 1) AND (Resultado prueba 2)
AND ... (Resultado prueba n)**

—Las zonas de tolerancia se marcarán en los pernos guía mediante entalles de profundidad no menor a 0.5 mm . La zona de tolerancia deberá ir pintada en color brillante. Donde haga falta se maquinarán "ventanas" sobre el cuerpo del mecanismo, que faciliten ver la posición de la zona de tolerancia (requisito de la Norma de Calidad):

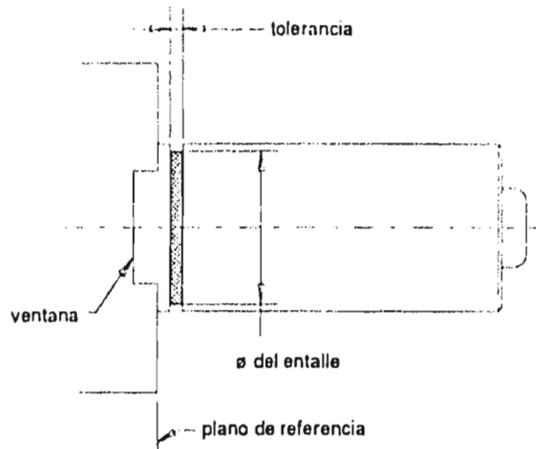


Figura 5.4. Aplicación de un entalle para marcar una zona de tolerancia

3. R y R del dispositivo.

—El porcentaje de R y R para cada característica a inspeccionar deberá ser inferior o igual al 10%. Para una descripción detallada del estudio de R y R del dispositivo, ver Apéndice B.

3.1. Rigidez de construcción.

3.1.1. Ensamblaje de alta precisión.

—Todos los ensambles de precisión deberán realizarse empleando 2 pernos cilíndricos $\text{Ø}8$ mm o mayor (pernos endurecidos rectos tipo *dowel*) y mínimo 2 tornillos tipo Allen (requisito de la Norma de Calidad).

—El ajuste entre pernos localizadores o pernos deslizantes y sus barrenos será $h6/H7$.

—Como alternativa, se podrán emplear ensambles con caja $h6/H7$ como se muestra:

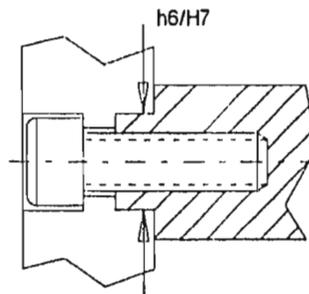


Figura 5.5. Ensamble de precisión de dos piezas, por medio de una caja con ajuste $h6/H7$.

—Todas las superficies planas de asentamiento deberán ir maquinadas a una planicidad de 0.02 mm o menor (requisito de la Norma de Calidad).

—En caso de emplear cilindros neumáticos para impulsar piezas deslizantes, el acoplamiento entre ambos deberá tener un diseño tal que compense cualquier falla de alineación entre el cilindro y la pieza deslizante.

—En caso de emplear bujes guía, el cilindro macizo del buje se insertará primero en el cuerpo del mecanismo, y posteriormente se barrenará y rimará a H7:

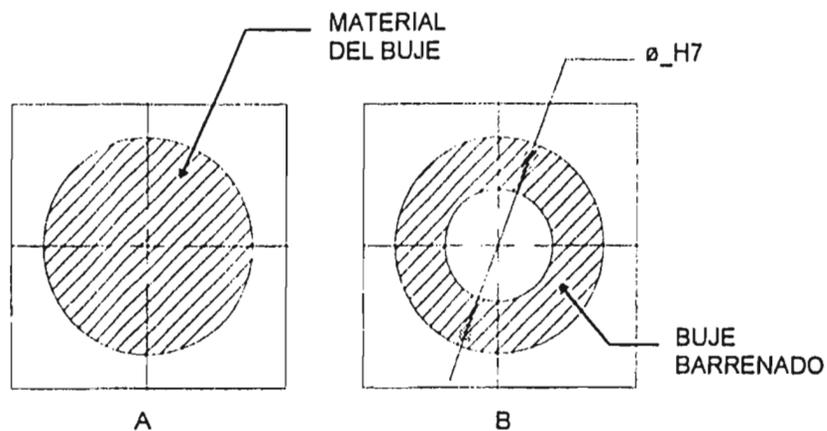


Figura 5.6. Maquinado de un buje guía

—En los conjuntos soldados, las superficies de contacto deberán ser maquinadas después de formar el ensamble soldado.

—Si se emplean sujetadores mecánicos (e. g. *clamps*), el elemento opresor deberá tener una interferencia calculada, de 0.5 a 1 mm, con la pieza que se va a sujetar, a fin de garantizar que ésta quede bien fija. No se permiten elementos opresores de hule (requisito de la Norma de Calidad). Ver diagrama.

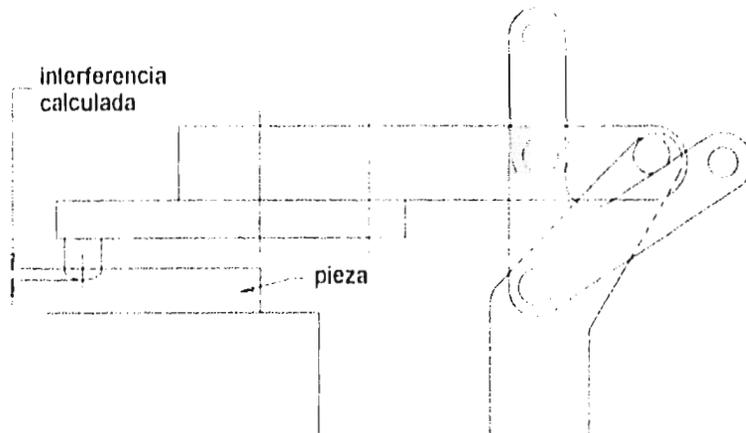


Figura 5.7. Sujetador mecánico con interferencia calculada

3.2. Durabilidad.

3.2.1. Piezas de desgaste intercambiables.

- Tanto las piezas que entren en contacto directo con el producto, como las piezas de fricción deberán ser templadas y rectificadas a rugosidad promedio (R_a) $0.8 \mu\text{m}$ (requisito de la Norma de Calidad).
- Matar todos los filos de esas piezas por lo menos a 0.5 mm para disminuir arranques de rebabas.
- Donde sea posible, las piezas deslizantes deberán ser de material autolubrificante.

Requisitos adicionales de construcción.

- Con la posible excepción de los cilindros neumáticos, todos los elementos estándar (tornillos, pernos, tuercas, etc.) del dispositivo deberán ser métricos.
- Ninguno de los elementos de inspección del dispositivo deberá rebasar el perímetro de la base del dispositivo, la cual deberá ser de forma rectangular (requisito de la Norma de Calidad).
- La base del dispositivo deberá contar con cuatro agujeros roscados cerca de las esquinas para que el dispositivo pueda ser transportado mediante tornillos de aro (requisito de la Norma de Calidad).

6. ELABORACIÓN DEL DISEÑO DEL DISPOSITIVO (PARTE II).

En este capítulo estudiaremos el diseño terminado de nuestro dispositivo. Vamos a exponer aquí los resultados de las cuatro últimas etapas de la metodología de diseño que expusimos en el capítulo 4. Estas etapas son, a saber:

- Generar alternativas.
- Evaluar y seleccionar alternativas.
- Diseño de detalle.
- Comunicación del diseño.

La etapa de mejora continua la hemos omitido conforme a lo dicho en el capítulo 4, apartado 4.2.

6.1. Técnicas empleadas en el modelamiento del dispositivo.

Comenzaremos la exposición de nuestro diseño explicando las dos técnicas principales que se emplearon para modelar el dispositivo de inspección: el diseño modular y el modelado tridimensional asistido por computadora.

6.1.1. Diseño modular del dispositivo.

Una conclusión que se obtuvo del diseño original del dispositivo fue que casi todas las características del múltiple de escape se pueden inspeccionar mediante mecanismos muy similares entre sí. Surgió entonces la idea de concebir un mecanismo de inspección de uso general, que se pudiera aplicar a las distintas pruebas que había de realizar el dispositivo. De este modo, para cada una de las características a inspeccionar se fabricaría esencialmente el mismo mecanismo. A este mecanismo lo he llamado módulo de inspección. Lo principal que cambiaría entre una prueba y otra sería la pieza que entraría directamente en contacto con la superficie del múltiple. Por lo demás, el módulo de inspección debería poder adaptarse a cada prueba con el mínimo estricto de modificaciones.

Hecha esta consideración, y con la información contenida en la tabla 5.1 (véase), el dispositivo de inspección queda dividido en los siguientes componentes, que se indican en negritas.

Componentes del dispositivo de inspección final del múltiple de escape

A. Dispositivo de fijación e inspección de la brida doble (Prueba 1)

B. Módulos de inspección:

B.1. Módulos de inspección de bujes roscados:

B.1.1. Módulo de inspección del buje M6x1 izquierdo (Prueba 2)

B.1.2. Módulo de inspección del buje M6x1 derecho (Prueba 2)

B.1.3. Módulo de inspección del buje M18x1.5 (Prueba 3)

B.2. Módulos de inspección de ramas:

B.2.1. Módulo de inspección de la rama 1 (Prueba 4)

B.2.2. Módulo de inspección de la rama 4 (Prueba 4)

B.2.3. Módulo de inspección de las ramas 2 y 3 (Prueba 4).

B.3 Módulo de inspección la de brida triangular (Pruebas 5, 6 y 7)

C. Base del dispositivo

D. Circuito neumático para accionar mecanismos

E. Circuito eléctrico para generar señal de aceptación o rechazo

Como puede verse en el inciso B, fue necesario diseñar, en realidad, tres clases de módulos de inspección, B.1, B.2 y B.3. No obstante, los tres son muy similares en su concepto, y de hecho todos ellos tienen varios componentes idénticos. Por ahora baste decir que el módulo B.2. es una versión del B.1 con características anti-giro, y que el módulo B.3. es esencialmente una combinación de un módulo B.1 con un módulo B.2.

6.1.2. Modelado tridimensional.

Una vez que se estableció el concepto para cada uno de los componentes del dispositivo, se procedió a realizar un modelo tridimensional completo del dispositivo. Para esta tarea se utilizó el paquete de dibujo y diseño asistido por computadora DynaCADD 2.04. El procedimiento fue como sigue:

a) Elaborar un modelo tridimensional del múltiple de escape (figura 6.1). en este modelo el múltiple tiene la misma orientación espacial que deberá tener al ser montado en el dispositivo de inspección, y que a su vez es igual a la orientación que tendrá finalmente en el motor del automóvil. Este modelo sirvió también como base para elaborar los planos de fabricación del múltiple.

b) Modelar, en archivos separados, cada uno de los diferentes mecanismos que forman el dispositivo (figura 6.2: dispositivo de inspección A; figuras 6.3.a, b, c: módulos de inspección B.1, B.2 y B.3 respectivamente). En esta etapa los mecanismos se elaboraron sin sus respectivos soportes.

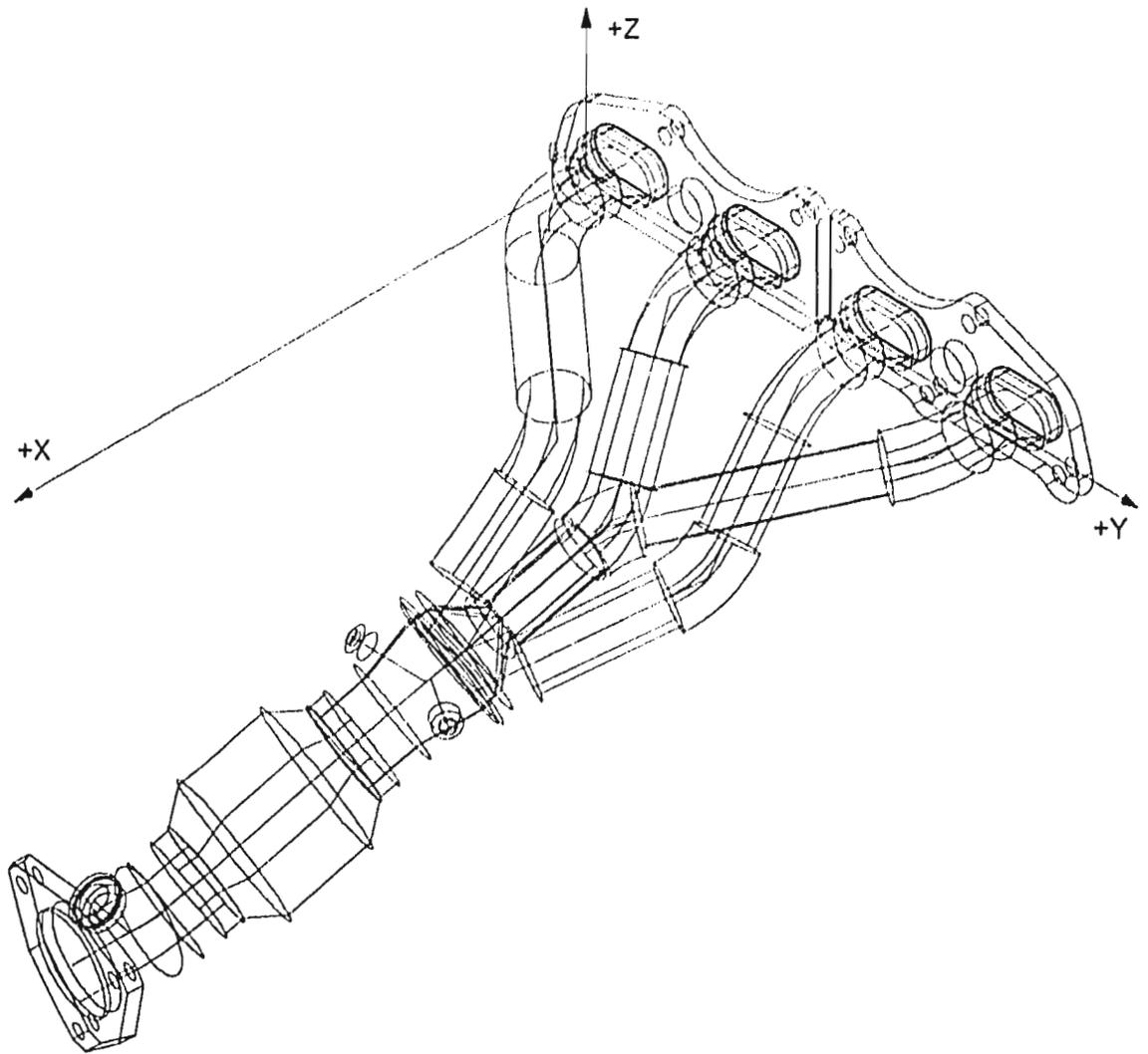


Figura 6.1. Modelo tridimensional del múltiple de escape

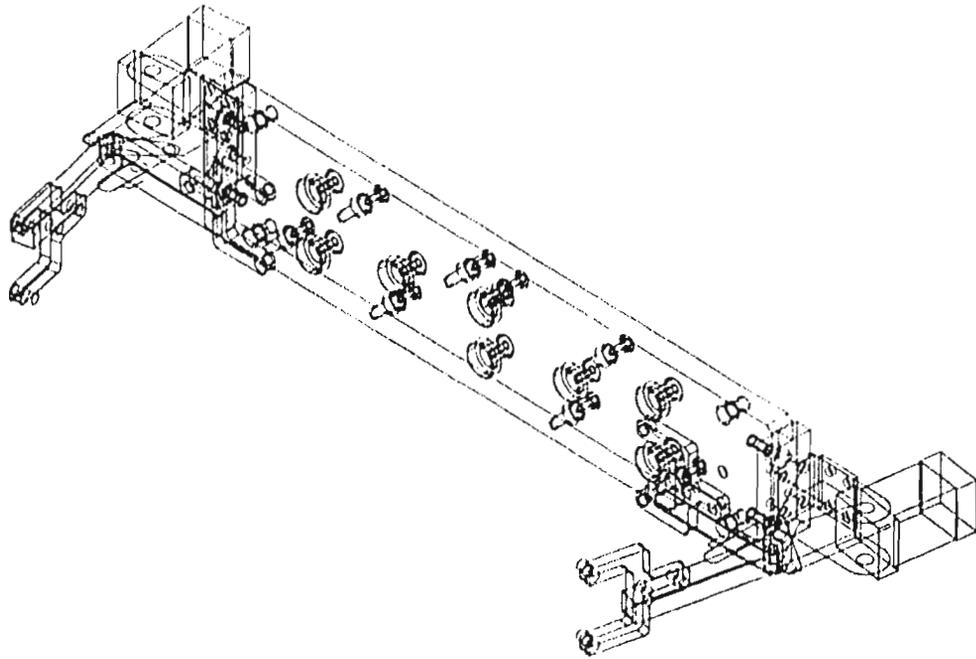


Figura 6.2. Dispositivo A (fijación e inspección de la brida doble). Modelo tridimensional

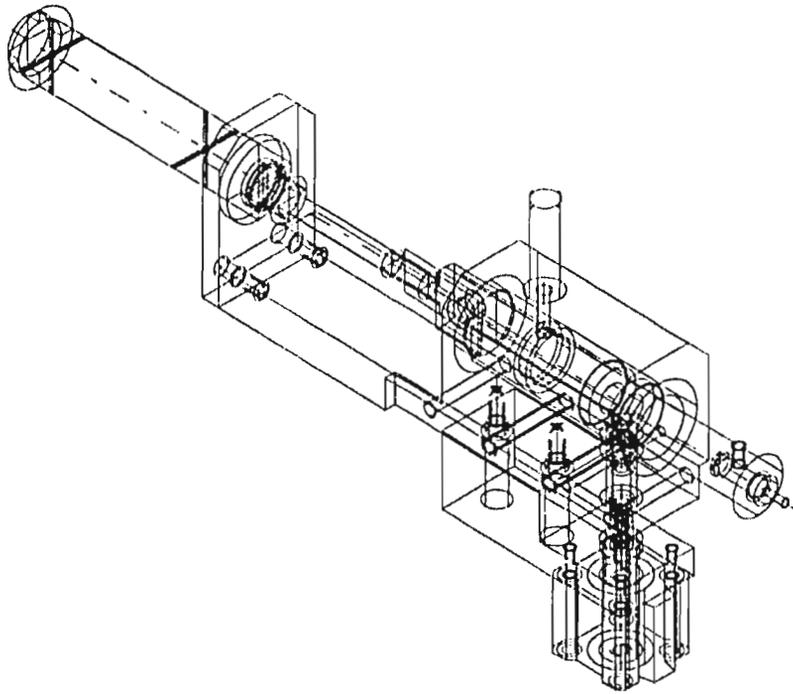


Figura 6.3.a. Módulo de inspección tipo B.1(buje M6 x1). Modelo tridimensional.

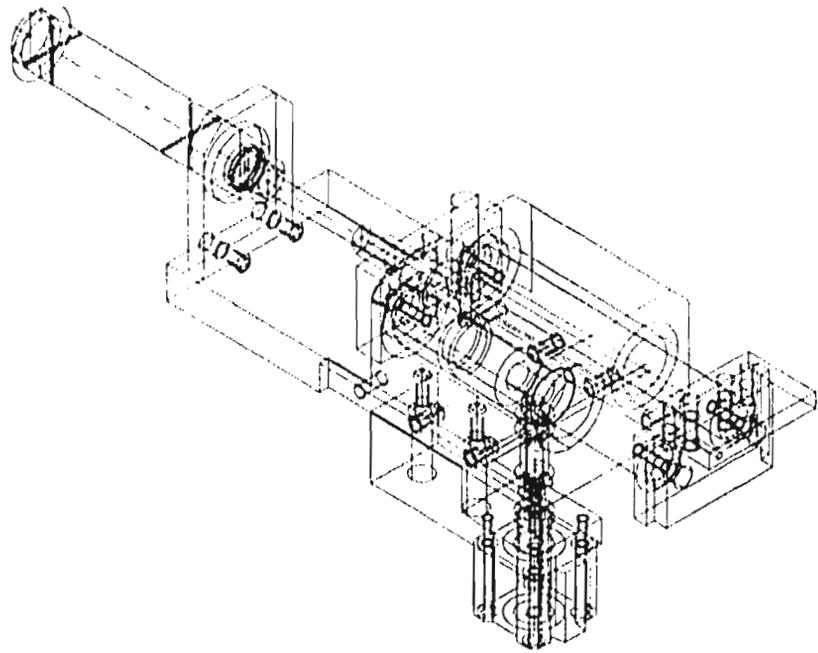


Figura 6.3.b. Módulo tipo B.2 (inspección de las ramas). Modelo tridimensional

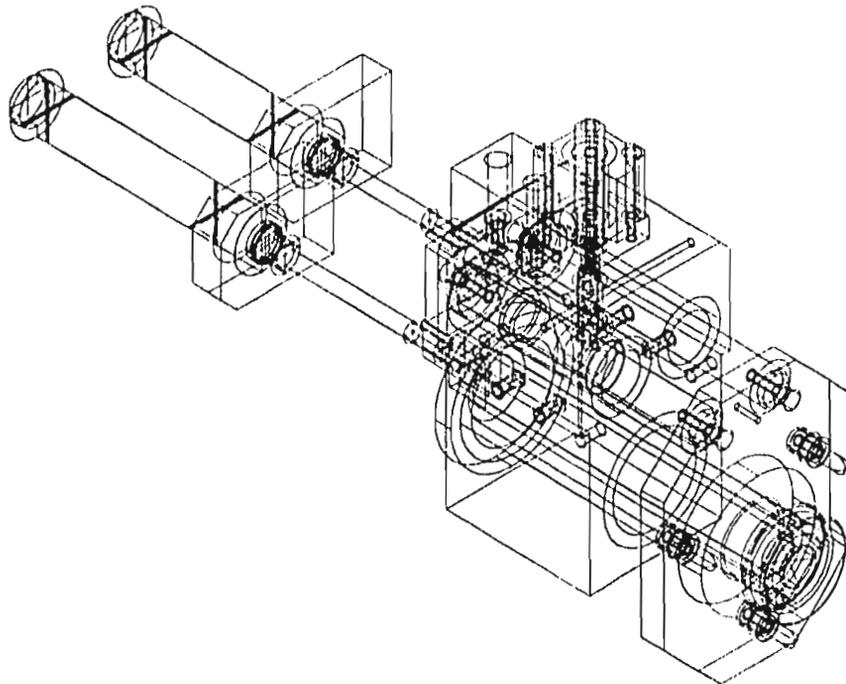


Figura 6.3.c. Módulo tipo B.3 (inspección de la brida triangular). Modelo tridimensional

c) En un archivo con el modelo tridimensional del múltiple, fueron colocados los diversos mecanismos, y se les dio su posición y orientación correcta respecto del múltiple (figura 6.4). Tanto el módulo tipo B.1 como el módulo B.2 se copiaron a tres posiciones diferentes, para formar los módulos B.1.1., B.1.2, B.1.3, y B.2.1, B.2.2, B.2.3 respectivamente. En esta etapa hubo que resolver algunos problemas de interferencia física entre mecanismos. Fue también aquí cuando se modelaron algunas piezas de contacto de forma compleja, en especial las que sirven para inspeccionar la trayectoria de las ramas.

d) Establecer un plano horizontal que representara la superficie de la base del dispositivo. Una vez hecho esto, se procedió a diseñar los elementos de soporte de los distintos mecanismos. Nuevamente se aplicó aquí el concepto modular: se partió de un diseño de soporte aplicable a todos los mecanismos (figura 6.5.a), con excepción del dispositivo A, y se adaptó este diseño a cada mecanismo con el mínimo de modificaciones, que fueron principalmente en la altura y en el ángulo de corte del extremo superior. Con este paso queda prácticamente terminado el modelo de nuestro dispositivo de inspección (figura 6.5.b), en un archivo de aproximadamente 2.5 *megabytes*.

e) Finalmente, las superficies inferiores de los soportes fueron trasladados al plano base del dispositivo (figura 6.6). Con esto queda establecida la posición de cada uno de los barrenos que se tendrán que aplicar a la placa base.

Dada la aparente complejidad del modelo que hemos ido presentando en las figuras anteriores, conviene mencionar que este dispositivo fue modelado por el método de diseño en capas múltiples. En este método, el modelo del dispositivo se concibe como si estuviera formado por varias capas de película transparente; cada capa contiene solamente una pieza, o un grupo de piezas similares, de las que forman el dispositivo completo. El paquete de CADD permite trabajar con una sola capa a la vez, o con un número reducido de ellas, y trasladarse de una capa a otra con gran facilidad. El modelo completo de nuestro dispositivo, incluido el múltiple de escape, consta de 52 capas; en la figura 6.7 se muestra una de ellas como ejemplo.

6.2. Exposición del diseño: método a seguir.

La descripción completa del diseño del dispositivo consistirá principalmente en la descripción detallada de cada uno de los elementos que lo componen (cfr. apartado 6.1.1), y en la elaboración de un diagrama de ensamble del dispositivo completo.

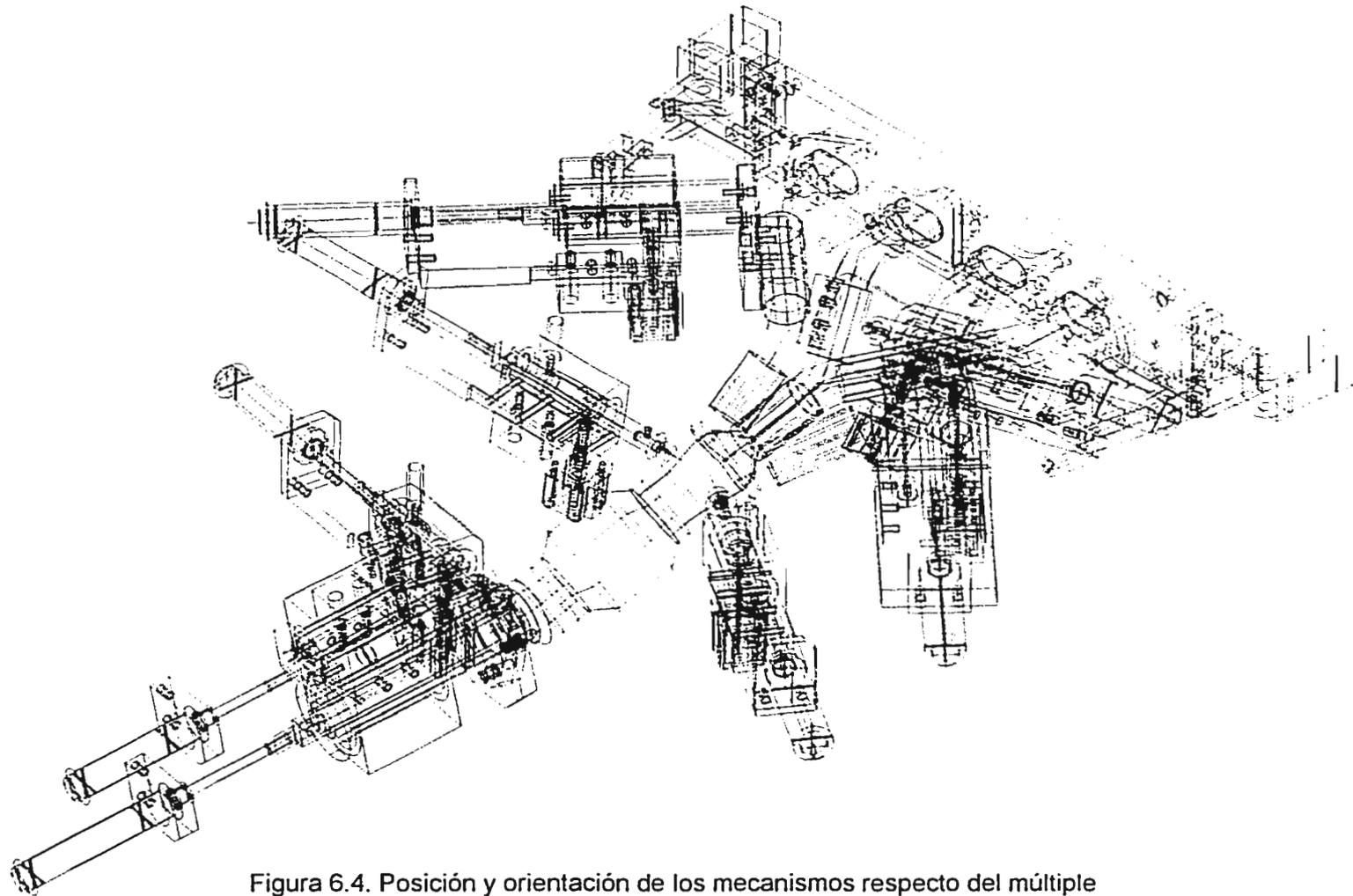


Figura 6.4. Posición y orientación de los mecanismos respecto del múltiple

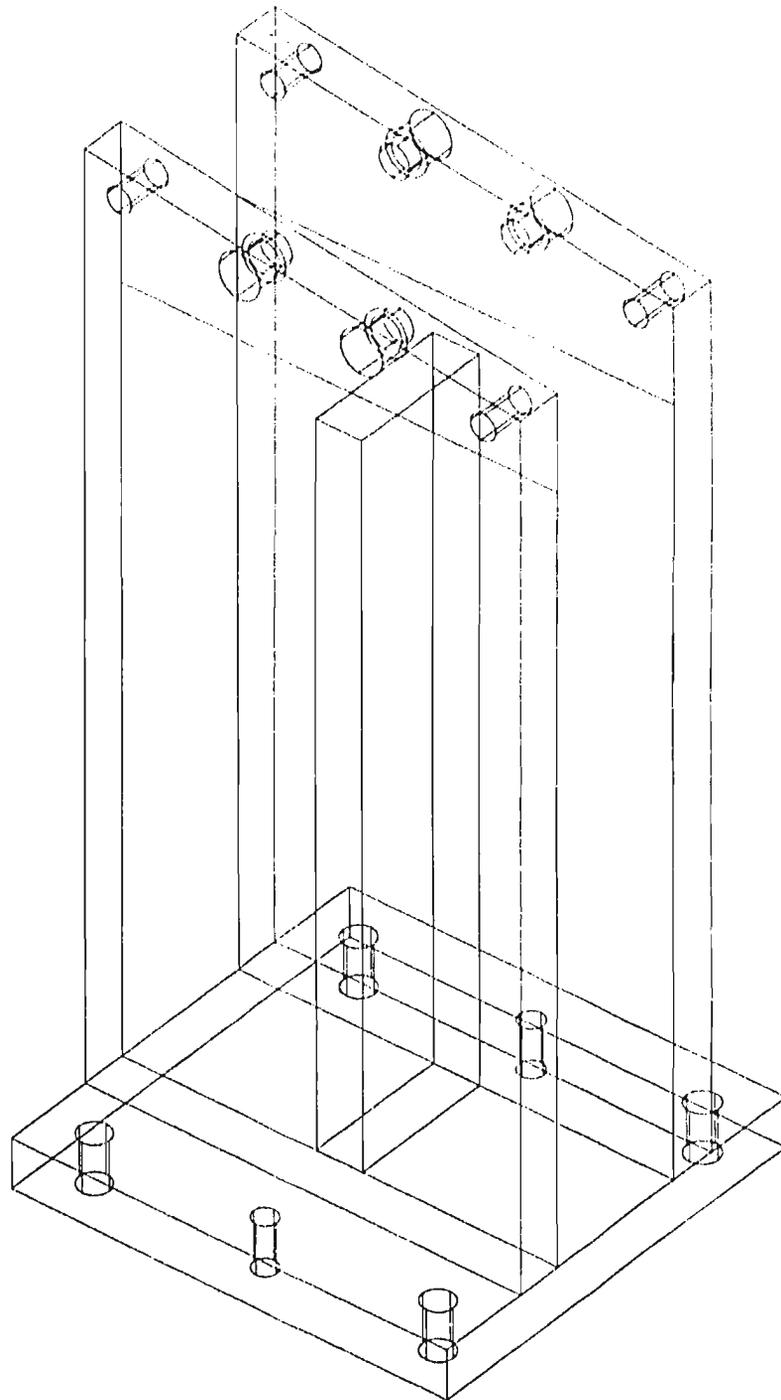


Figura 6.5.a. Diseño del soporte de los mecanismos

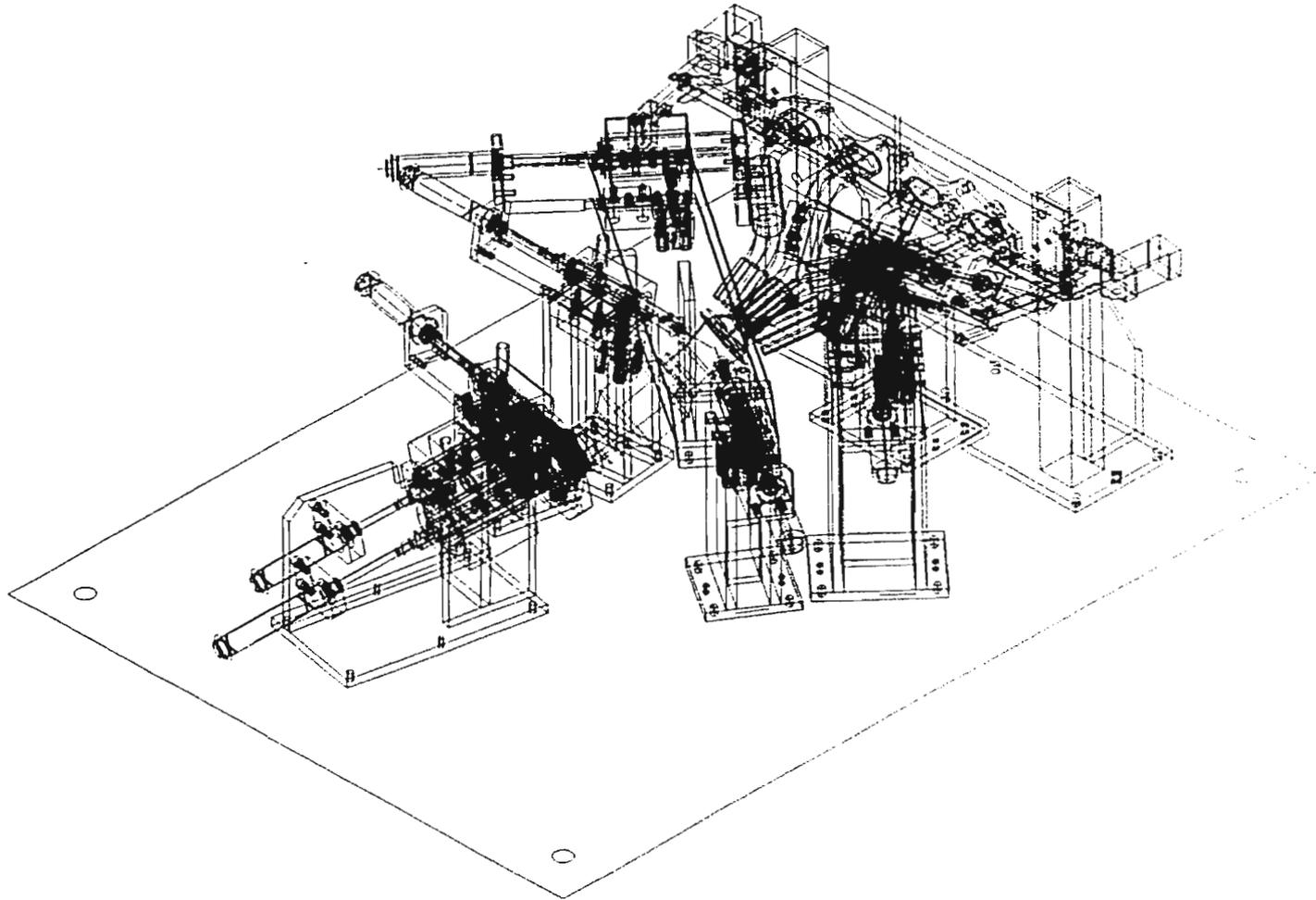


Figura 6.5.b. Modelo tridimensional completo del dispositivo de inspección

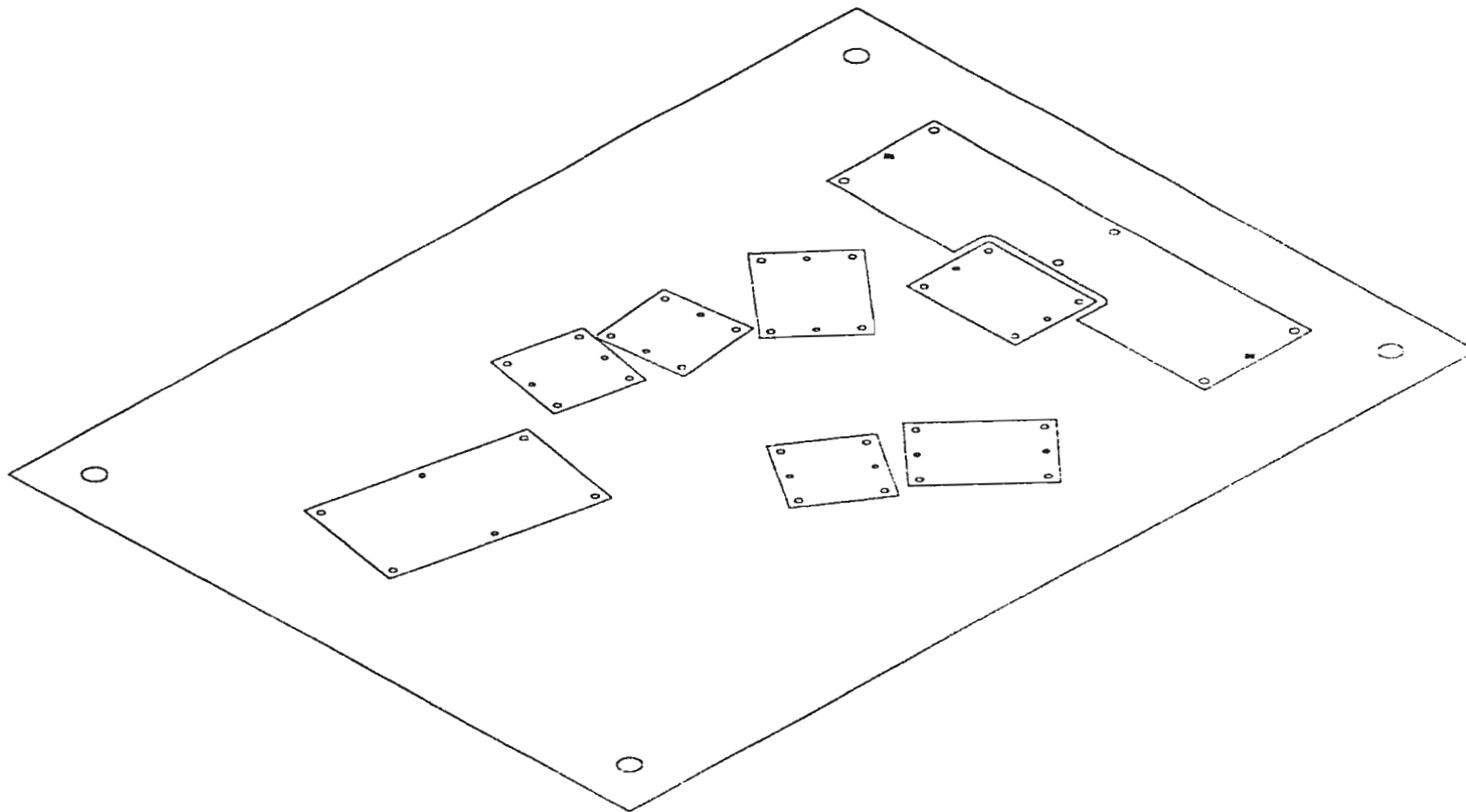


Figura 6.6. Modelo tridimensional de la placa base

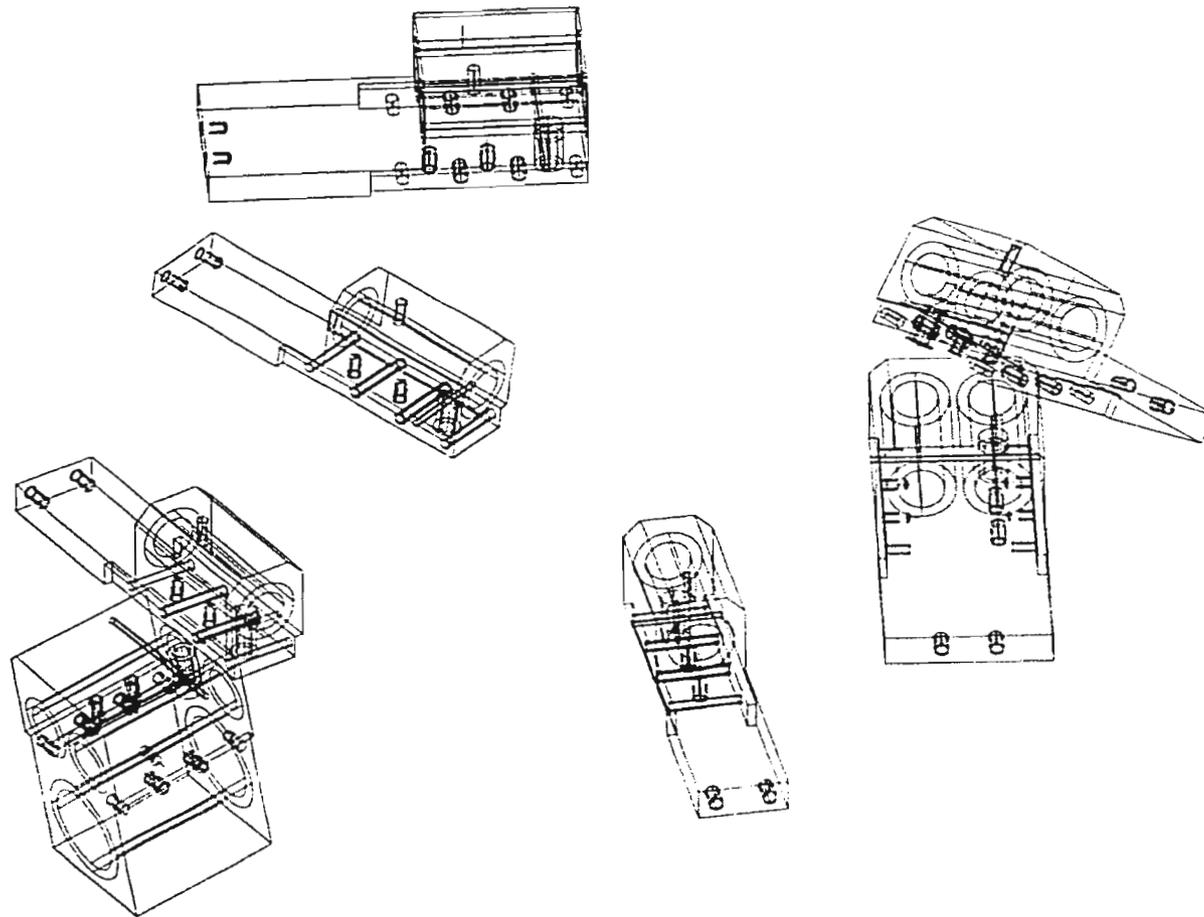


Figura 6.7. Capa 32: cuerpos principales de los mecanismos

A continuación mostraremos el formato que vamos a seguir para describir los componentes del dispositivo de inspección. En este formato están presentes las cuatro etapas del proceso de diseño a que hemos hecho referencia al inicio de este capítulo.

Componente (letra): (descripción)

a) Evaluación y selección de alternativas de diseño para cada sub-componente:

En este apartado se muestra cómo se seleccionaron los sub-componentes específicos con que vamos a formar el componente en cuestión. Los sub-componentes están tomados de la tabla 5.1.

Sub-componente:		
Alternativas de diseño	Selecc.	Criterios de selección
a)		
b)		
c)		

Se llenará un cuadro como el anterior por cada sub-componente. En la segunda columna se indica cuál fue la alternativa seleccionada, y en la tercera se explican los criterios por los cuales se escogió.

b) Vista(s) principal(es) del componente:

Incluyen la identificación de las piezas que forman el componente completo. Se muestran las dimensiones principales del componente.

c) Listado de piezas del componente:

Las piezas serán descritas dentro de una tabla como la siguiente:

Pieza Nº	Descripción	Material
1		Se incluirá aquí la especificación del material. Se hará también una breve descripción de las características por las cuales se seleccionó ese material, a menos que ya se haya hecho esa descripción antes para una pieza equivalente.
2		
...		

d) Descripción del funcionamiento del componente:

Se mostrarán las posibles posiciones del mecanismo con relación a la zona de tolerancia a inspeccionar, y se indicarán las condiciones de aceptación o rechazo de la característica. Estas condiciones se expresarán como "PASA"

(pieza aceptada) y "NO PASA" (pieza rechazada). También se mostrará la forma en que deberá posicionarse el mecanismo para realizar su inspección en la máquina CMM.

El formato descrito anteriormente se aplicará también, con las modificaciones necesarias, a la placa base del dispositivo. Los circuitos neumático y eléctrico tendrán desde luego un tratamiento distinto.

6.3. Exposición completa del diseño del dispositivo para inspección del múltiple de escape.

A. Dispositivo de fijación e inspección de la brida doble (Prueba 1)

a) Evaluación y selección de alternativas de diseño para cada sub-componente:

Sub-componente: Placa de fijación e inspección de la brida doble		
Alternativas de diseño	Selecc.	Criterios de selección
a) Placa rectificada que funcione como dato A. Pernos cilíndricos rectos.		No convenía emplear la placa como superficie dato, porque requeriría tratamiento térmico y rectificado, y resultaría más difícil de barrenar. Los insertos planos son intercambiables, y además se pueden rectificar conjuntamente para formar una buena superficie dato. Los pernos cilíndricos funcionan independientemente de los insertos.
b) Placa sin rectificar con pernos dotados de planos que generen el dato A		
c) Placa sin rectificar. Insertos planos tratados térmicamente, que generen el dato A. Pernos cilíndricos.	x	

Sub-componente: Mecanismo de sujeción de la brida.		
Alternativas de diseño	Selecc.	Criterios de selección
a) <i>Clamp</i> (sujetador) de 4 barras manual.		Es preferible el <i>clamp</i> neumático al manual porque permite un ahorro importante en el tiempo de montaje y desmontaje. El mecanismo de 4 barras es preferible al de simple efecto porque resulta menos voluminoso y tiene un efecto de cierre más seguro. Intenté diseñar un <i>clamp</i> neumático propio que abriera lo bastante para no interferir con el montaje y desmontaje del múltiple. Sin embargo hemos optado por el modelo comercial que, si bien no tiene el mismo ángulo de apertura, representa un ahorro importante en tiempo de fabricación.
b) <i>Clamp</i> neumático de simple efecto, comercial.		
c) <i>Clamp</i> neumático de 4 barras, diseño propio		
d) <i>Clamp</i> neumático de 4 barras, comercial	x	

Sub-componente: Soporte de la placa		
Alternativas de diseño	Selecc.	Criterios de selección
a) Diseño basado en placas soldadas		El perfil cuadrado tiene las características de buena superficie de apoyo para la placa y área de base relativamente amplia.
b) Diseño basado en perfil cuadrado (PTR) soldado.	x	

b) Vistas principales del dispositivo A: figura 6.8.

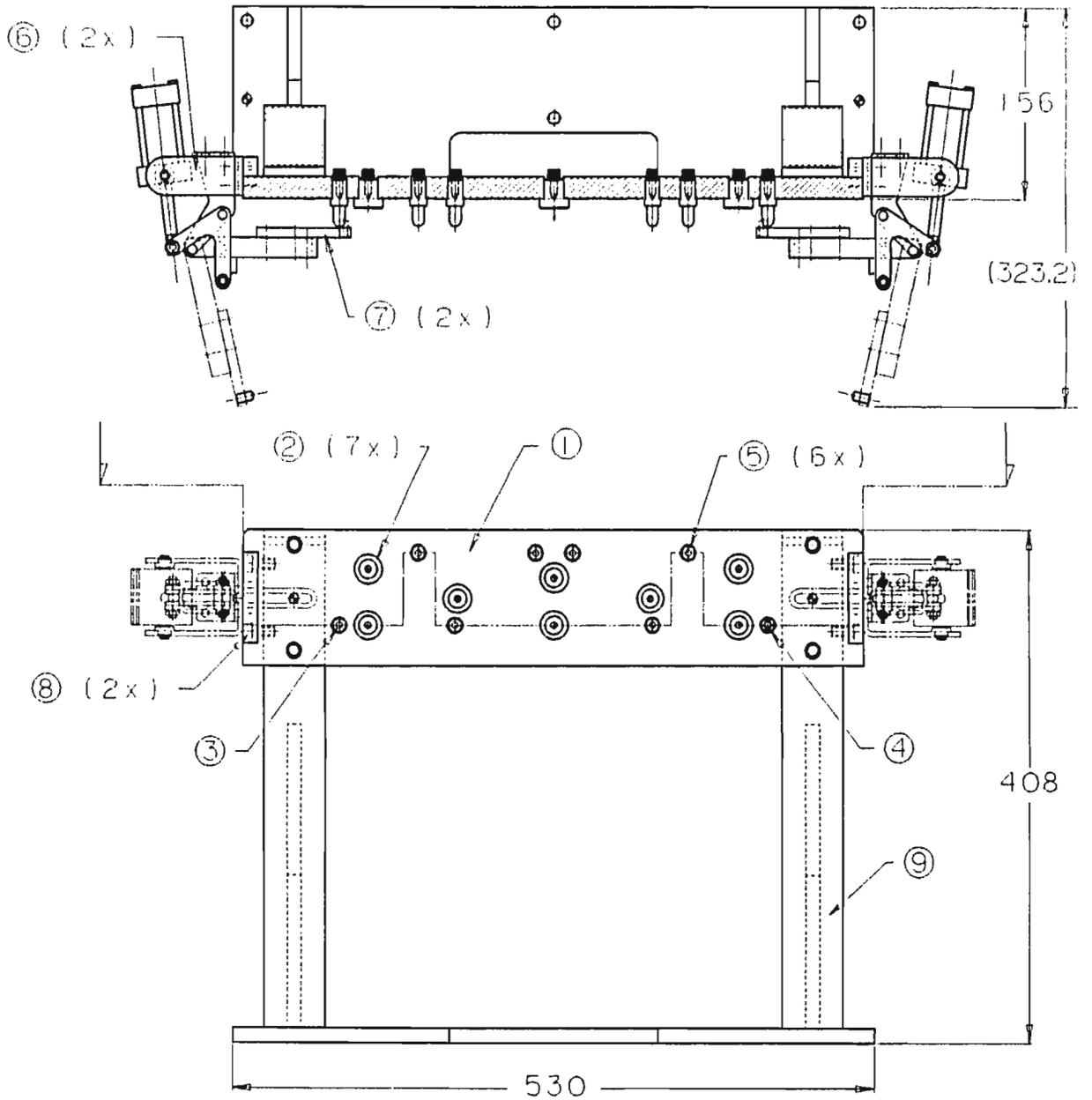


Figura 6.8. Dispositivo de fijación e inspección de la brida doble

c) Listado de piezas del dispositivo A:

Pieza N°	Descripción	Material
1	Placa vertical	AISI-SAE 1018 CR (rolado en frío). Acero al carbono para construcción general, con buena maquinabilidad. Para aplicaciones que no requieren tratamiento térmico.
2	Insertos planos	AISI D2. Acero herramental al alto cromo y alto carbón (Composición: 1.5% C, 1.0% Mo, 12% Cr, 1% V). Temple a 56-58 Rc. Este acero combina las siguientes propiedades: —Alta resistencia al desgaste. Es de uso común en patrones de inspección. —Tiene estabilidad dimensional después del temple. No requiere por tanto demasiado sobrante para el maquinado final. —Conserva buena maquinabilidad después del temple a pesar del alto contenido de carbono.
3	Perno cilíndrico Ø10 (dato B)	AISI D2. Temple a 56-58 Rc.
4	Perno prismático Ø10 (dato C)	AISI D2. Temple a 56-58 Rc.
5	Perno cilíndrico Ø9.5 (prueba de posición de los barrenos)	AISI D2. Temple a 56-58 Rc.
6	Clamp neumático de 4 barras con acción de cierre (DE-STA-CO™ Mod. 817-U)	
7	Herraduras de presión	AISI-SAE 1018 CR. Nota: los elementos de contacto con la brida doble son 2 prisioneros Allen M8x1.25 de punta esférica.
8	Placa de fijación del clamp	AISI-SAE 1018 CR.
9	Soporte general	Construcción soldada formada con los siguientes materiales: —Placas AISI-SAE 1018 CR. —Cuadrado de fierro comercial 2".

d) Descripción del funcionamiento del dispositivo A:

El primer paso en la operación del dispositivo de inspección es colocar el múltiple de escape en el dispositivo A. Esto se logra insertando manualmente la brida doble en los pernos de la placa vertical, y accionando los *clamps* neumáticos.

Condiciones de aceptación o rechazo de la característica. Para que los barrenos de la brida doble puedan considerarse en condición "PASA", deben cumplirse las siguientes condiciones: (1) los barrenos deben entrar libremente en todos los pernos de la placa vertical; (2) la superficie de la brida debe asentar a tope sobre todos los insertos planos (figura 6.9); (3) la brida debe poder insertarse a tope en forma puramente manual (no se considera aceptable forzar que la pieza quede a tope aplicando los *clamps* neumáticos). Si cualquiera de las condiciones anteriores no se cumple, la pieza estará en condición "NO PASA".

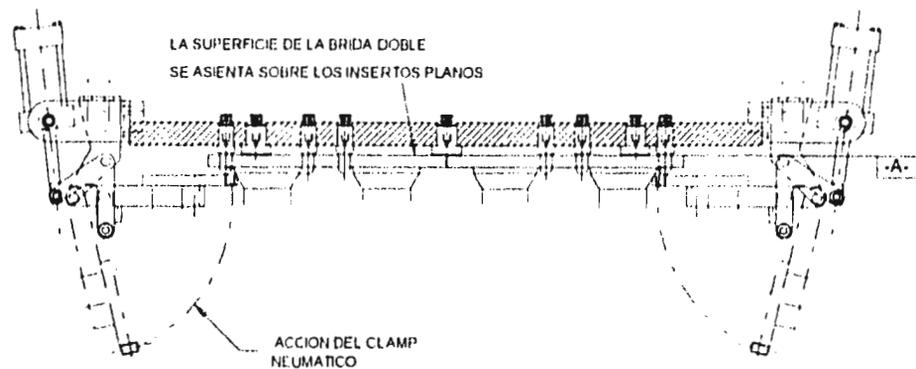
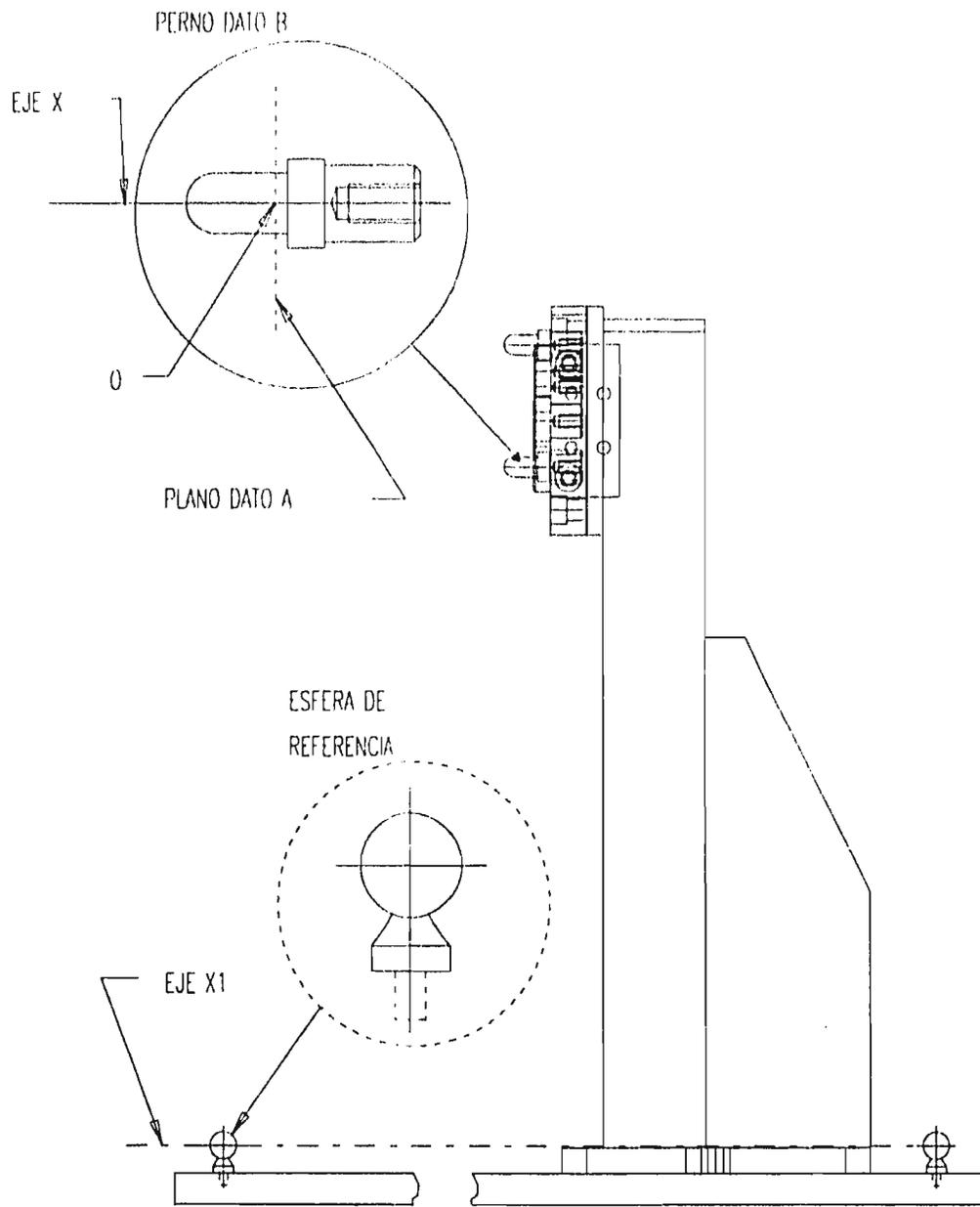


Figura 6.9. Funcionamiento del dispositivo de fijación e inspección de la brida doble

Inspección en la máquina CMM. El primer paso para realizar la inspección del dispositivo A en la máquina CMM consiste en generar los ejes coordenados del mismo, de forma que coincidan con los ejes coordenados del múltiple de escape. Los ejes coordenados también servirán como referencia para las mediciones de los otros módulos en la máquina CMM: El procedimiento para generar estos ejes es como sigue:

- a) Generar plano dato A. Los insertos planos constituyen el plano dato "A" del dispositivo (cfr. figura 6.9). Para generar un plano en la máquina de coordenadas se requiere detectar al menos 5 puntos del plano físico. En este caso detectaremos 8, palpando un punto en cada uno de los insertos.
- b) Generar eje X (figura 6.10.a). Se insertarán dos esferas de referencia sobre la placa base del dispositivo, como se muestra en la figura 6.10. Se palpa la superficie de cada esfera en 8 puntos, con lo cual la máquina CMM localizará automáticamente el centro de cada esfera. A continuación, se genera, mediante el programa de la máquina, una línea que una los dos centros, a la que llamaremos X1. (esta línea es paralela al eje X). Posteriormente se palpa el perno dato B para generar un cilindro en el programa. El origen de los ejes coordenados corresponde al punto de intersección "O" del eje del cilindro con el plano A. Finalmente, se genera una línea paralela a la línea X1 que pase por "O". La línea generada será nuestro eje X.
- c) Por un procedimiento análogo, se genera el punto de intersección O1 del eje del perno prismático C con el plano A. Se genera en el programa una línea que une O con O1. Esta línea será nuestro eje Y. El eje Z es generado en forma automática (figura 6.10.b).

Una vez establecidos los ejes del dispositivo, el primer punto a verificar es la posición de los pernos de prueba, tomando como referencia los pernos dato A y B. Para establecer la tolerancia de posición de los pernos, aplicaremos la regla por la cual la tolerancia de un dispositivo de inspección no deben exceder el 10% de la tolerancia de la característica a inspeccionar. Considerando que la



DISPOSITIVO DE FIJACION E INSPECCION
DE LA BRIDA DOBLE (VISTA LATERAL DERECHA)

Figura 6.10.a. Generación del eje X

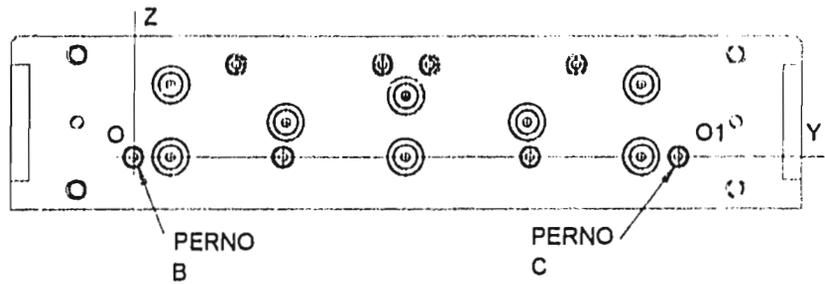


Figura 6.10.b. Generación de los ejes Y y Z

tolerancia de posición de los barrenos de la brida es $\varnothing 0.5$ con respecto a A, B y C, las tolerancias de diámetro y posición de los pernos quedan como sigue:

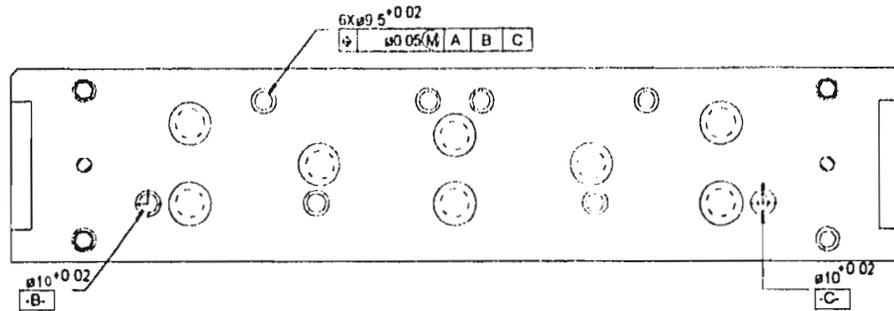


Figura 6.11. Tolerancia posicional de los pernos de prueba

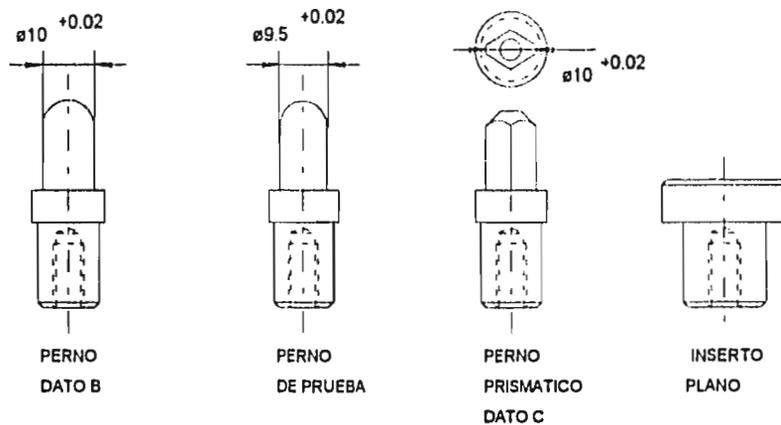


Fig. 6.11.b. Detalle de los pernos e insertos planos

B.1.1. Módulo de inspección del buje M6x1 izquierdo (Prueba 2)**B.1.2. Módulo de inspección del buje M6x1 derecho (Prueba 2)**

Como se trata de dos mecanismos idénticos, excepto sus respectivas bases, se analizarán los dos juntos en este apartado.

a) Evaluación y selección de alternativas de diseño para cada sub-componente:

Sub-componente: Elementos de prueba (1)-pieza de contacto con el buje		
Alternativas de diseño	Selecc.	Criterios de selección
a) Perno cilíndrico: debe entrar libremente en el agujero del buje	x	El perno con agujero cilíndrico tendría de ser la ventaja de ser una pieza más sólida, pero se descartó porque habría sido más difícil distinguir entre las posiciones "PASA" y "NO PASA". El perno cilíndrico no tiene este problema pero en cambio corre riesgo de fractura por su pequeño diámetro. Esto se solucionará usando pernos intercambiables.
b) Perno de diámetro grande, con agujero cilíndrico: el mamelón del buje (v. planos de fabricación) debe entrar libremente en el agujero del perno.		

Sub-componente: Elementos de guía para los elementos de prueba		
Alternativas de diseño	Selecc.	Criterios de selección
a) Juntas en cola de milano.		La experiencia con bujes guía de acero, pese a su alta resistencia al desgaste, no resultó buena porque requiere limpieza y lubricación constante. Los bujes de bronce no presentan este problema, y además pueden ser barrenados hasta después de insertarse en el cuerpo del mecanismo, con lo que se consigue mayor precisión dimensional.
b) Pernos guía cilíndricos de acero templado con bujes de acero templado y lubricación.		
c) Pernos guía cilíndricos de acero grafitico templado con bujes de bronce.	X	

Sub-componente: Elementos de prueba (2)-detección de la posición del elemento de prueba		
Alternativas de diseño	Selecc.	Criterios de selección
a) Detección visual: practicar una ranura sobre el perno guía, e inspeccionar su posición respecto a alguna referencia.	X	Aunque la inspección visual es demasiado lenta para emplearse en producción normal, vale la pena conservar los elementos de detección visual para algunos análisis. Para detección automática se consideró emplear sensores de posición inductivos o neumáticos, pero su precisión resulta insuficiente para esta aplicación.
b) Detectar posición mediante un sensor inductivo (LVDT).		
c) Detectar posición mediante un sensor de proximidad neumático.		En el sistema de LED y fotodiodo, el fotodiodo se pone en cortocircuito cuando recibe luz del LED, y abre cuando se cierra la ventana entre ambos.
d) Detectar posición mediante un diodo emisor de luz (LED) y un fotodiodo, con una ventana intermedia	x	El problema ahora fue diseñar el mecanismo que acciona la ventana, y se resolvió mediante un sistema de perno y buje guía.

Sub-componente: Mecanismo de accionamiento de los elementos de prueba		
Alternativas de diseño	Selecc.	Criterios de selección
a) Accionamiento manual		La elección aquí fue obvia, y es decisiva para reducir el tiempo de la prueba.
b) Cilindros neumáticos	x	

Sub-componente: Soporte para el mecanismo completo de los elementos de prueba		
Alternativas de diseño	Selecc.	Criterios de selección
a) Diseño basado en placas soldadas y maquinadas.		Aunque el cliente recomienda el empleo de perfiles cuadrados para construir el cuerpo de los soportes, este resulta poco práctico cuando se necesitan cortes angulados.
b) Diseño basado en perfil cuadrado (PTR) con placas soldadas y maquinadas.		

b) Vista(s) principal(es) de los módulos de inspección de los bujes M6x1 (B.1.1 y B.1.2): figuras 6.12.a y 6.12.b (página siguiente).

c) Listado de piezas de los módulos de inspección de los bujes M6x1:

Pieza Nº	Descripción	Material
10	Cuerpo principal del mecanismo	AISI-SAE 1018 CR.
11	Buje guía del perno principal	Bronce al aluminio CA625 (UNS C62500). Composición: 82.7% Cu, 3.0% Fe, 11.0% Al. Bronce para fabricación de bujes guía, levas y piezas de fricción en general.
12	Perno principal	AISI O6. Acero herramental grafitico (Composición: 1.45% C, 1.0% Si, 0.25% Mo). Temple a 58-60 Rc. Propiedades: — Excelente resistencia al desgaste. En este tipo de acero, alrededor de 1/3 del contenido de carbono está en forma de grafito nodular, lo cual le da propiedades de autolubricación. Es adecuado por tanto para piezas sujetas a fricción constante. — El contenido de grafito también proporciona gran facilidad de maquinado. — Conserva buena estabilidad dimensional después del temple, de modo que requiere dejar poco sobrante para el maquinado final. — Usado en patrones de inspección.
13	Buje guía del perno de prueba	Bronce al aluminio CA625 (UNS C62500).
14	Perno de prueba	AISI O6. Temple a 58-60 Rc.
15	Acoplamiento del cilindro carrera corta	AISI-SAE 1018 CR.
16	Soporte del cilindro carrera corta	AISI-SAE 1018 CR.
17	Acoplamiento del cilindro carrera 2"	AISI-SAE 1018 CR.
18	Soporte del cilindro carrera 2"	AISI-SAE 1018 CR.
19	Cilindro neumático de carrera corta (10 mm), Ø25 mm	

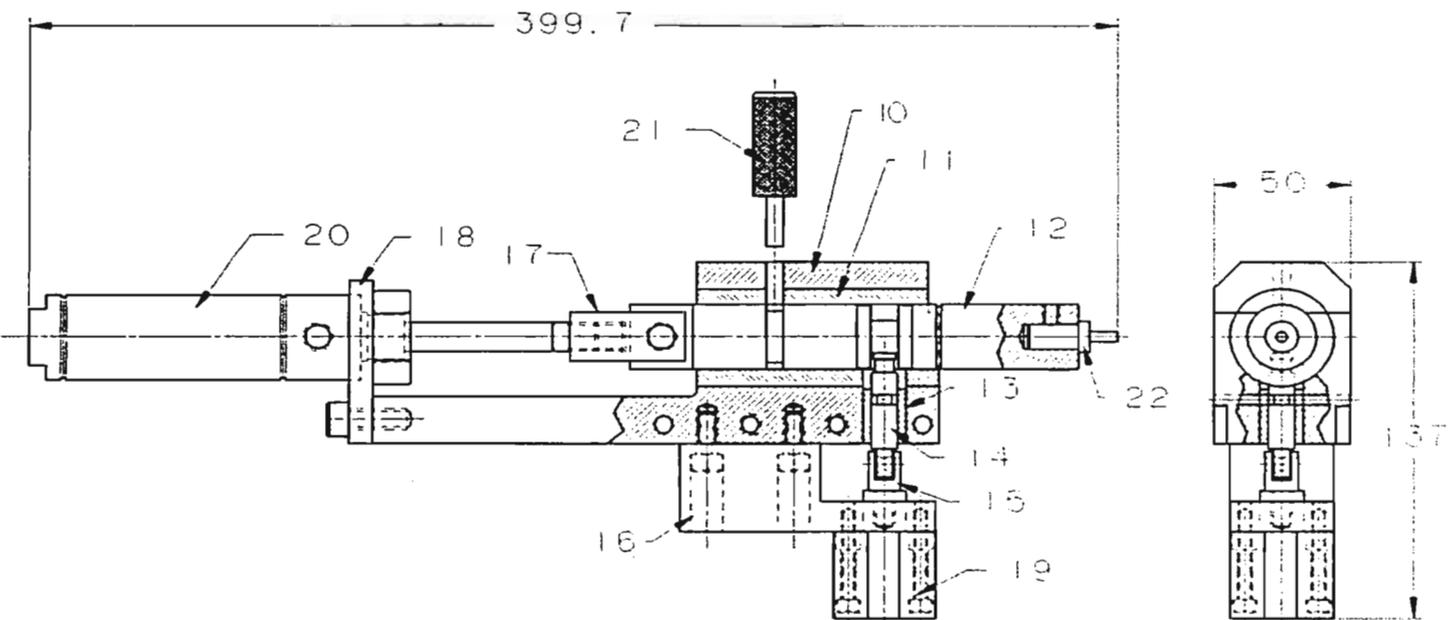
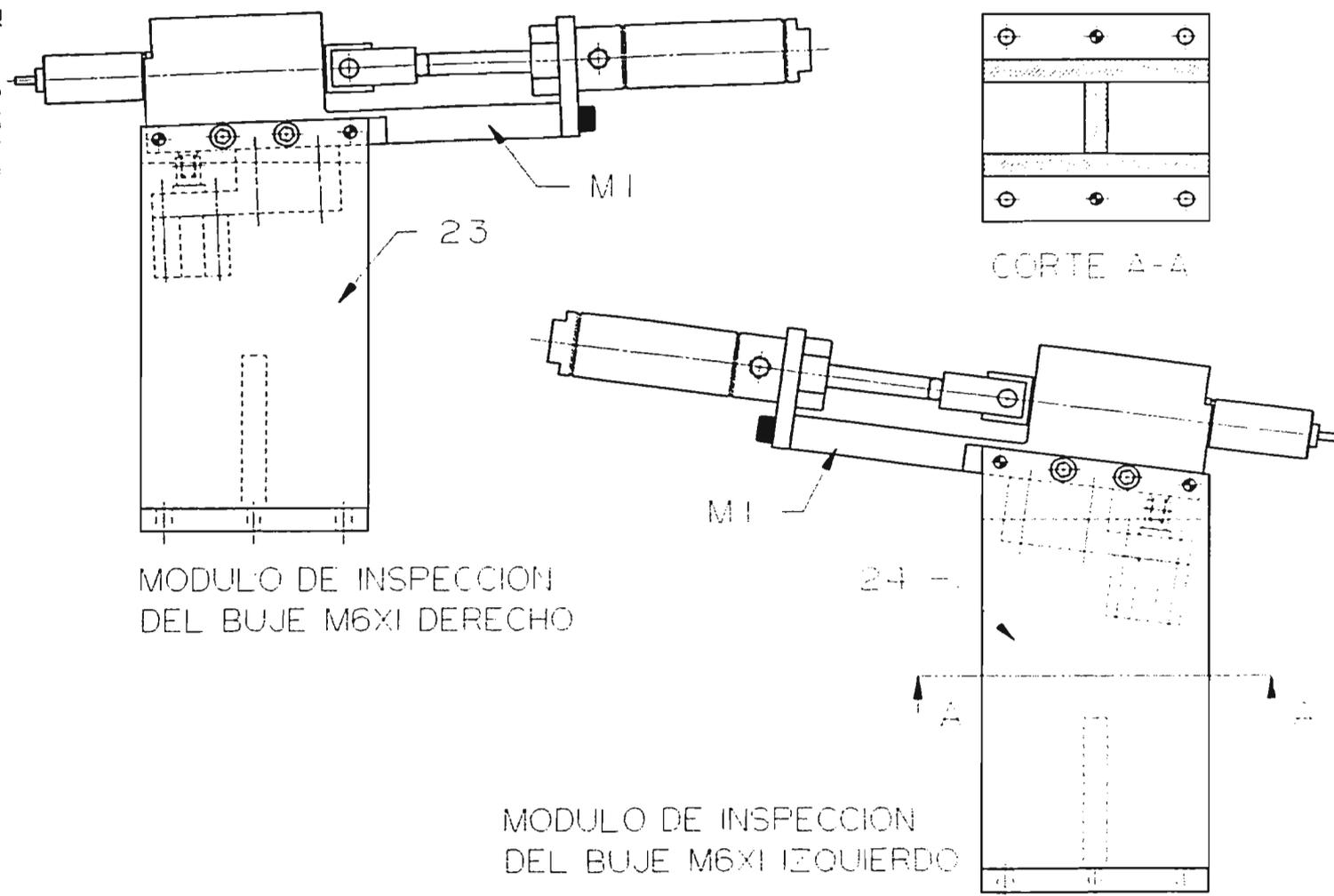


Figura 6.12.a. Mecanismo principal "M1" de los módulos de inspección de los bujes M6x1

Figura 6.12.b. Ensamblajes completos de los módulos de inspección de los bujes M6x1



24	Base del módulo de inspección del buje M6x1 izquierdo	Construcción soldada y maquinada formada por placas AISI-SAE 1018 CR
----	---	--

d) Descripción del funcionamiento de los módulos de inspección de los bujes M6x1:

1. Posición inicial del mecanismo: figura 6.13.a. Cuando se monta el múltiple en el dispositivo, los cilindros neumáticos tanto del perno guía A como del perno de prueba B se encuentran en posición "cerrada": en la figura puede verse la posición que tiene en ese momento el buje M6x1 respecto del mecanismo. La prueba de posición del buje se hará mediante la punta de inspección, que tiene un diámetro igual a la condición virtual del buje, 3.92 mm.

2. Para que la posición del buje se considere correcta, la punta de inspección debe entrar en toda su longitud en el agujero roscado del buje. En las figuras sucesivas mostraremos la acción de los dos elementos principales del mecanismo, que son:

—El perno guía A. Tiene como función mover la punta de inspección para inspeccionar el buje.

—El perno de prueba B. Sirve para detectar la posición del perno guía una vez que ha entrado. Dependiendo de esta posición se generará o no la señal que indica que el buje está dentro de tolerancia.

3. La figura 6.13.b muestra el caso de un buje M6x1 cuya posición es correcta (i. e. cumple con la tolerancia de posición). Al iniciar la inspección del buje, el primer componente que actúa es el perno guía, impulsado por su cilindro neumático. Se puede ver cómo la punta de prueba ha entrado a tope en el agujero roscado. Mientras tanto el perno de prueba permanece en su posición original. Como se muestra en la sección X-X, existe un agujero que atraviesa de lado a lado el cuerpo principal. En un extremo del agujero se encuentra un diodo emisor de luz (LED), siempre encendido, mientras que en el otro extremo existe un fotodiodo. El fotodiodo está normalmente en circuito abierto; solamente entrará en cortocircuito si recibe la radiación del LED. Como puede verse en la figura, en este momento el perno de prueba tapa completamente al agujero de los diodos, de manera que el fotodiodo está abierto.

4. Figura 6.13.c: viene ahora la acción del perno de prueba. Cuando la posición del buje M6x1 es correcta (condición "PASA"), el efecto es que el perno de prueba logra entrar hasta topar con el entalle del perno guía. En esa posición, el entalle del perno de prueba abre un hueco que permite pasar la luz del LED al fotodiodo. Con eso el fotodiodo se pone en cortocircuito y genera una corriente eléctrica. Esta corriente constituye la señal de que el buje M6x1 se encuentra en condición "PASA". De ser necesario, la posición del buje M6x1 también se puede

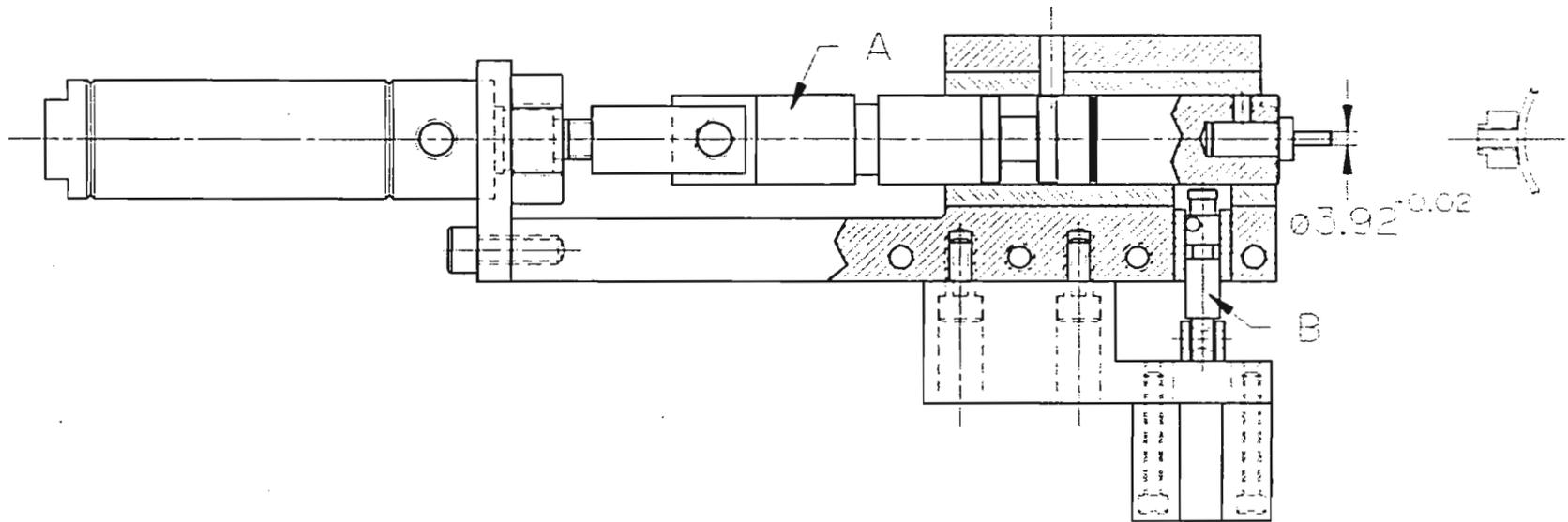


Figura 6.13.a. Módulo de inspección de los bujes M6x1
Posición inicial del mecanismo

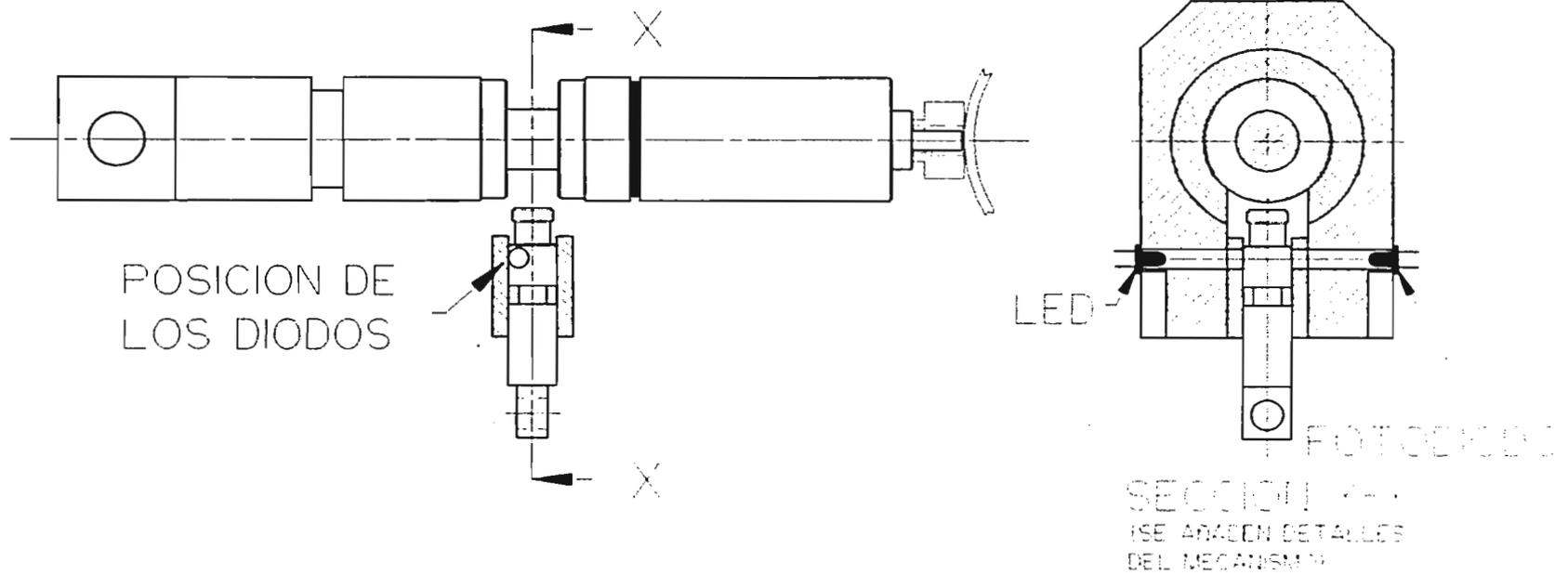


Figura 6.13.b. Inspección de un buje M6x1 con posición correcta

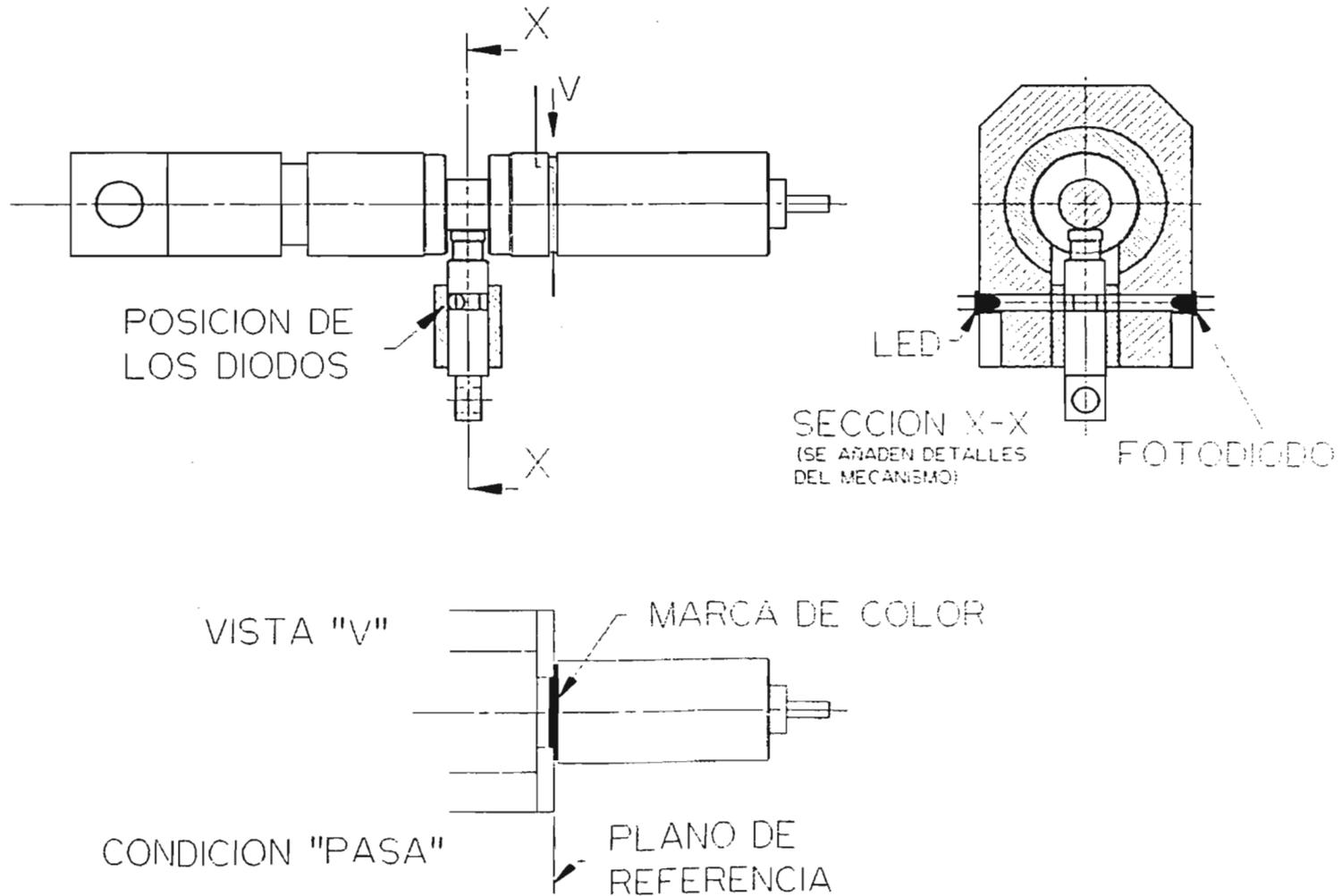


Figura 6.13.c. Inspección de un buje M6x1 con posición correcta: acción del perno de prueba y posición de las marcas de color

comprobar por la posición de la marca de color del perno guía¹. Como se muestra en la vista "V", la posición de la marca de color es correcta cuando ésta no rebasa el plano de referencia, que en este caso corresponde a la cara frontal del cuerpo del mecanismo.

5. La figura 6.13.d muestra un caso en que la posición del buje M6x1 está fuera de tolerancia (condición "NO PASA"). La punta de prueba no ha logrado entrar totalmente en el agujero roscado (de hecho, se presentarán casos en que la punta no entre nada en el agujero). Ahora, al accionar el perno de prueba, éste no logra entrar en el entalle del perno guía. Como resultado, el agujero de los diodos permanece cerrado y, por tanto, el fotodiodo no genera ninguna señal. En cuanto a la marca de color, en la vista "V" vemos cómo ésta ha quedado detrás del plano de referencia, con lo cual se comprueba que la posición del buje M6x1 es incorrecta.

6. Pueden darse también casos en los que el eje del buje M6x1 esté dentro de tolerancia con respecto al eje teórico y, sin embargo, no sirva para el ensamble. Esto ocurre porque el buje también puede desviarse longitudinalmente (es decir, a lo largo de su eje), hacia adentro o hacia afuera. Si esta desviación resulta excesiva, el buje podrá causar problemas de ensamble. Por esta razón se nos pidió establecer además una zona de tolerancia longitudinal para el buje igual a ± 1 mm. Como puede verse en la figura 6.13.e, aunque la punta de prueba ha entrado completamente en el buje, éste se halla fuera de la zona de tolerancia longitudinal, y por tanto su condición es "NO PASA". Esta condición se ve claramente en la vista "V" porque la marca de color nuevamente está detrás del plano de referencia.

7. Antes de aceptar la tolerancia longitudinal propuesta en el inciso anterior, conviene hacer un pequeño análisis, que se muestra en la figura 6.13.f. Un hecho que se observó al probar los bujes de los múltiples de escape fue que éstos siempre se desplazaban longitudinalmente hacia afuera (dirección +), a causa de las condiciones del proceso de soldadura. De este modo, podemos hacer caso omiso de la tolerancia longitudinal de -1 mm. Ahora bien, ¿la tolerancia longitudinal de +1 mm afecta de algún modo a la tolerancia posicional? En el caso A la desviación de posición es paralela al eje teórico. Aquí la tolerancia longitudinal no afecta. El caso B muestra un perno que se ha desviado de su

¹ En los dispositivos para inspección de sistemas de escape, muchas de las características geométricas se inspeccionan examinando la posición de estas marcas de color. La marca de color consiste en una ranura maquinada sobre el perno guía, con ancho igual al de la zona de tolerancia, y pintada de color rojo (cfr. capítulo 5, apartado 5.4: "Especificaciones del dispositivo de inspección"). Es fácil darse cuenta de que este método de inspección resulta arduo si son muchas las características a inspeccionar, y/o si es alto el volumen de piezas. Como expliqué en el capítulo anterior, un objetivo de este nuevo diseño es sustituir ese método de inspección, por un sistema que genere una señal cuando todas las características del múltiple sean correctas. Sin embargo, he optado por conservar de todas formas las marcas de color, ya que resultan útiles cuando se encuentra una pieza mala, y se quiere determinar qué característica fue la que falló y, sobre todo, en qué forma falló.

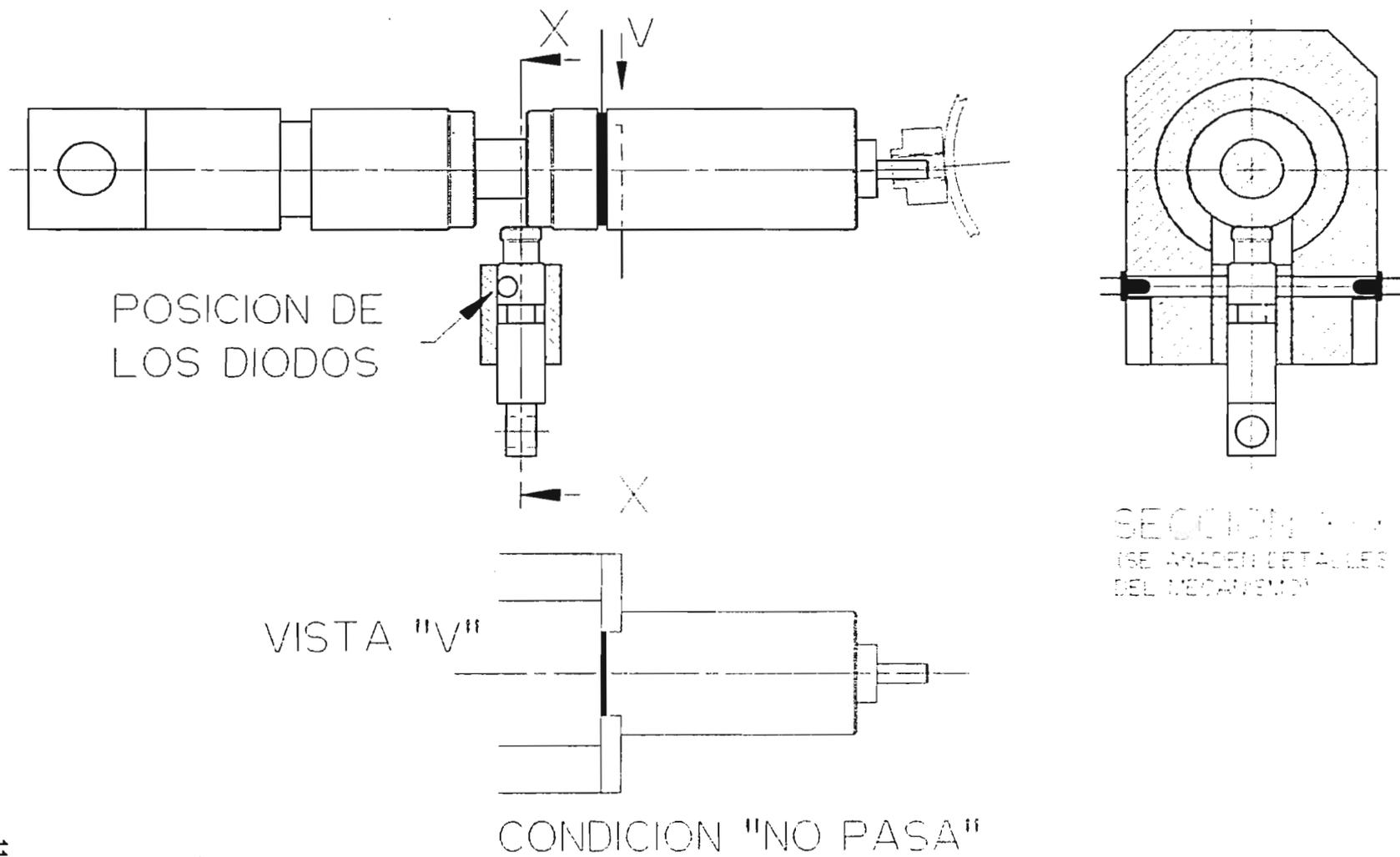


Figura 6.13.d. Inspección de un buje M6x1 fuera de tolerancia posicional

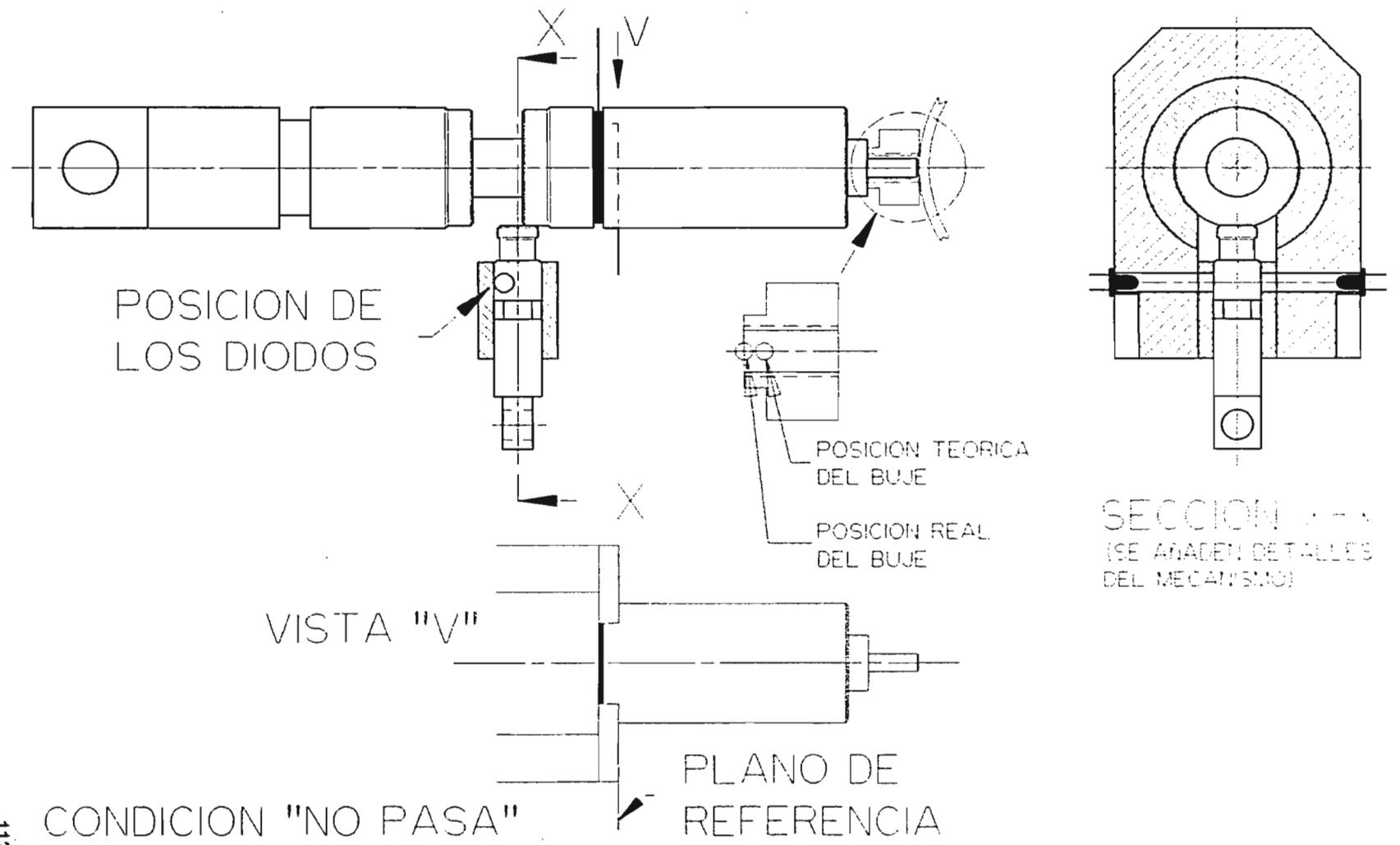


Figura 6.13.e. Inspección de un buje M6x1 fuera de tolerancia longitudinal

posición en forma angular. La figura muestra el caso más extremo de desviación angular. Aquí, el perno no rebasa la condición virtual de $\varnothing 3.917$ mm. En cambio, sí rebasa la tolerancia longitudinal por 0.17 mm. En conclusión, la tolerancia longitudinal impone una pequeña restricción a la desviación angular máxima permisible. Haciendo cálculos, la reducción en la tolerancia de posición (únicamente para el caso de desviación angular), resulta de ser de 0.089 mm. Dado su pequeño valor, esta disminución puede considerarse aceptable y no exige hacer modificaciones al mecanismo.

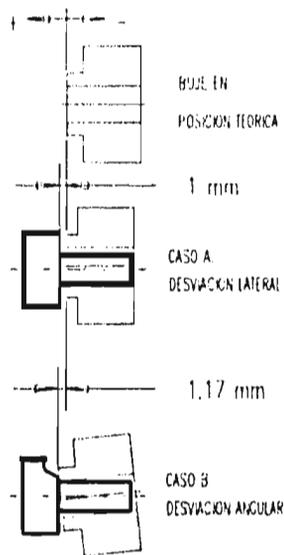


Figura 6.13.f. Efecto de la tolerancia longitudinal

8. Inspección en la máquina CMM. La figura 6.13.g presenta el arreglo del mecanismo para ser verificado en la máquina CMM. Sin alimentación neumática, el perno guía debe ser desplazado manualmente hasta poder insertar el perno de fijación como se muestra en la figura. Con esto la punta de prueba queda fija en la posición teórica. Las tolerancias de los puntos L2 y L4 en el dispositivo quedan de la siguiente manera:



Tolerancia de posición de los puntos L2 y L4 en el dispositivo

Tolerancia longitudinal de los puntos L2 y L4 en el dispositivo: ± 0.1 mm.

El método para generar los puntos L2 ó L4 de la punta de prueba en la máquina CMM es como sigue (v. figura 6.13.h, página 115):

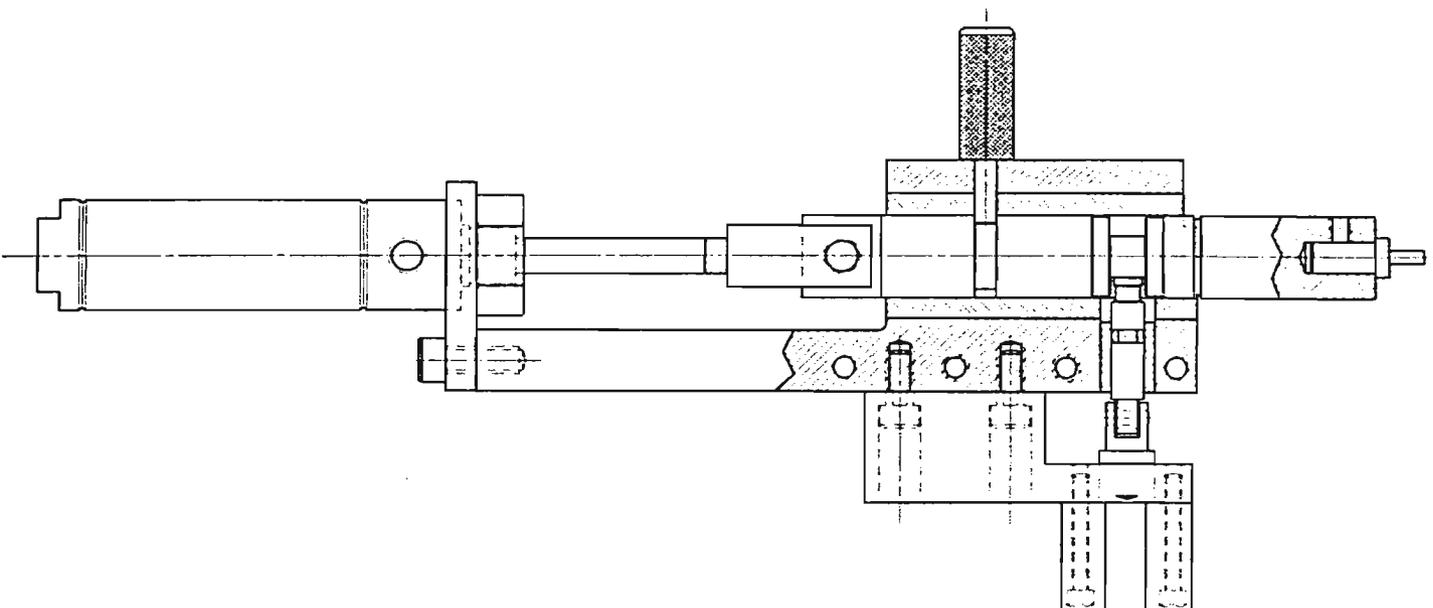


Figura 6.13.g. Arreglo del mecanismo para verificación en la máquina CMM

- a) Generar un cilindro palpando 8 puntos sobre la superficie de la punta de prueba.
- b) Generar un plano palpando 5 puntos sobre la superficie plana de la punta de contacto.
- c) Mediante el programa de la máquina, generar la intersección del eje del cilindro con el plano. El punto de intersección generado corresponde al punto L2 o al punto L4 según el módulo de que se trate.

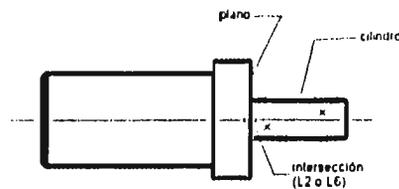


Figura 6.13.h. Generación en CMM de los puntos L2 y L4

B.1.3. Módulo de inspección del buje M18x1.5 (Prueba 3)

Conforme al principio del diseño modular, el diseño de este módulo es prácticamente idéntico al de los módulos B.1.1 y B.1.2 descritos anteriormente: el buje se considera en condición "PASA" cuando la punta de prueba entra a toda su longitud (i. e. hasta tope) en el agujero roscado. Mencionaremos únicamente las diferencias respecto de los módulos anteriores.

a) **Evaluación y selección de alternativas de diseño para cada sub-componente:** cfr. módulos B.1.1 y B.1.2.

b) **Vista(s) principal(es) del módulo de inspección del buje M18x1.5 (B.1.3):** figura 6.14.

c) **Listado de piezas del módulo de inspección del buje M18x1.5:** se listan solamente las piezas que son distintas para este elemento. Confrontar el resto en la sección de los dispositivos B.1.1 y B.1.2:

Pieza N°	Descripción	Material
25	Perno principal	AISI O6. Temple a 58-60 Rc
26	Punta de inspección	AISI D2. Temple a 56-58 Rc.
27	Base del modulo de inspección del buje M18x1.5 izquierdo	Construcción soldada y maquinada formada por placas AISI-SAE 1018 CR

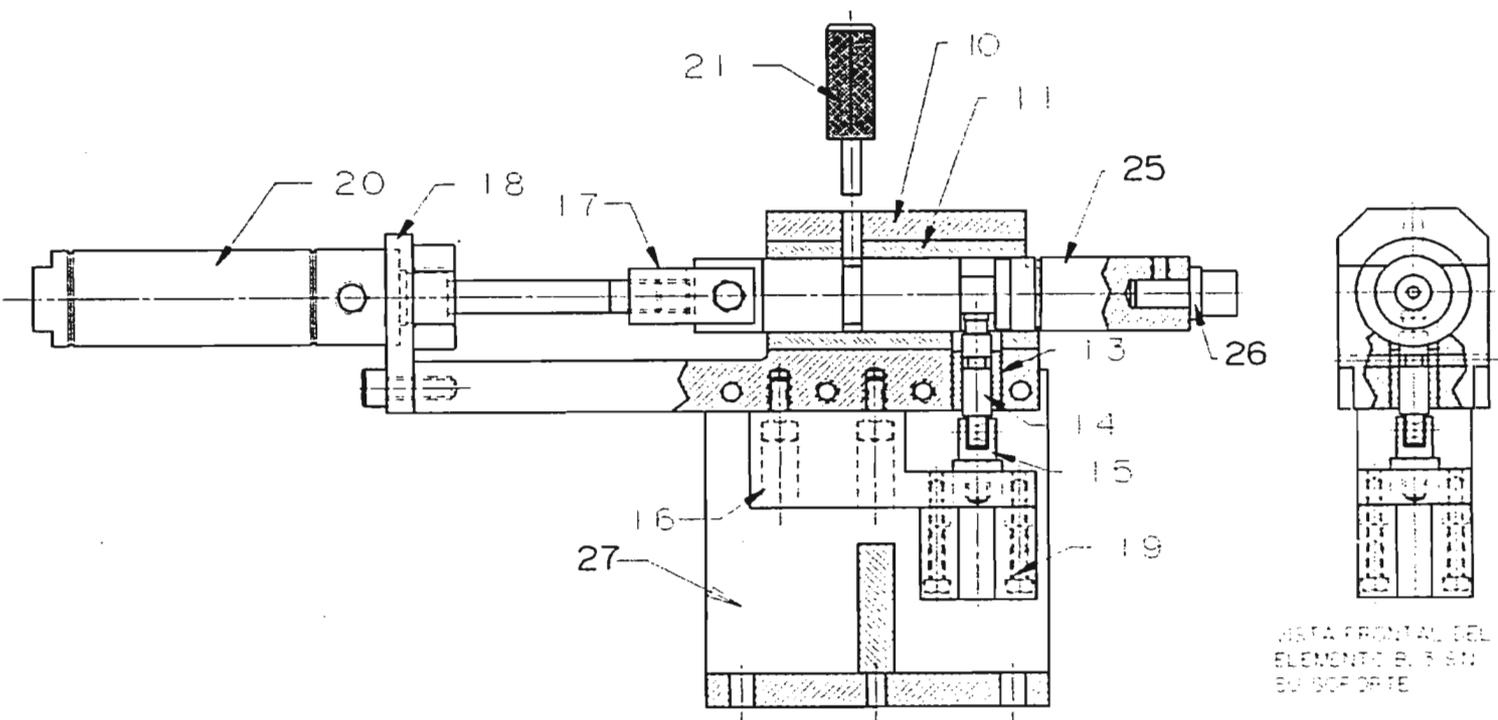


Figura 6.14. Ensamble completo del módulo de inspección del buje M18x1.5

d) Descripción del funcionamiento del módulo de inspección del buje M18x1.5:

El principio de funcionamiento de este elemento es, para efectos prácticos, idéntico al de los elementos que inspeccionan los bujes M6x1. Ocurre lo mismo con el método para verificar el elemento en la máquina CMM.

En la figura 6.15 (página siguiente) se muestra la posición del perno guía y del perno de prueba al probar un buje M18x1.5 teóricamente perfecto. Las únicas diferencias que cabe mencionar con respecto al funcionamiento del mecanismo anterior es que, en este caso, la punta de prueba es más larga que el agujero roscado por tratarse de un agujero pasado. El efecto es que aquí no hará falta ninguna disminución de la tolerancia para el caso de desviación angular.

Las tolerancias del punto L6 en el dispositivo quedan de la siguiente manera:



Tolerancia de posición del punto L6

En este caso hemos asumido que el dato D (centro de la brida triangular) se encuentra fijo al momento de probar el buje M18x1.5. El mecanismo mediante el cual se fija el dato D forma parte del elemento B.3.

Tolerancia longitudinal del punto L6: ± 0.15 mm.

B.2.1. Módulo de inspección de la rama 1 (Prueba 4)

B.2.2. Módulo de inspección de la rama 4 (Prueba 4)

B.2.3. Módulo de inspección de las ramas 2 y 3 (Prueba 4)

a) Evaluación y selección de alternativas de diseño para cada sub-componente:

El concepto del mecanismo para estos tres módulos es equivalente al de los módulos anteriores, pero con dos características distintas, que son la propiedad anti-giro y el empleo de placas de prueba para el perfil de los tubos, en vez de las puntas de prueba cilíndricas que usamos en los módulos anteriores. Para estas dos características se escogieron las siguientes alternativas de diseño: (a la página 119)

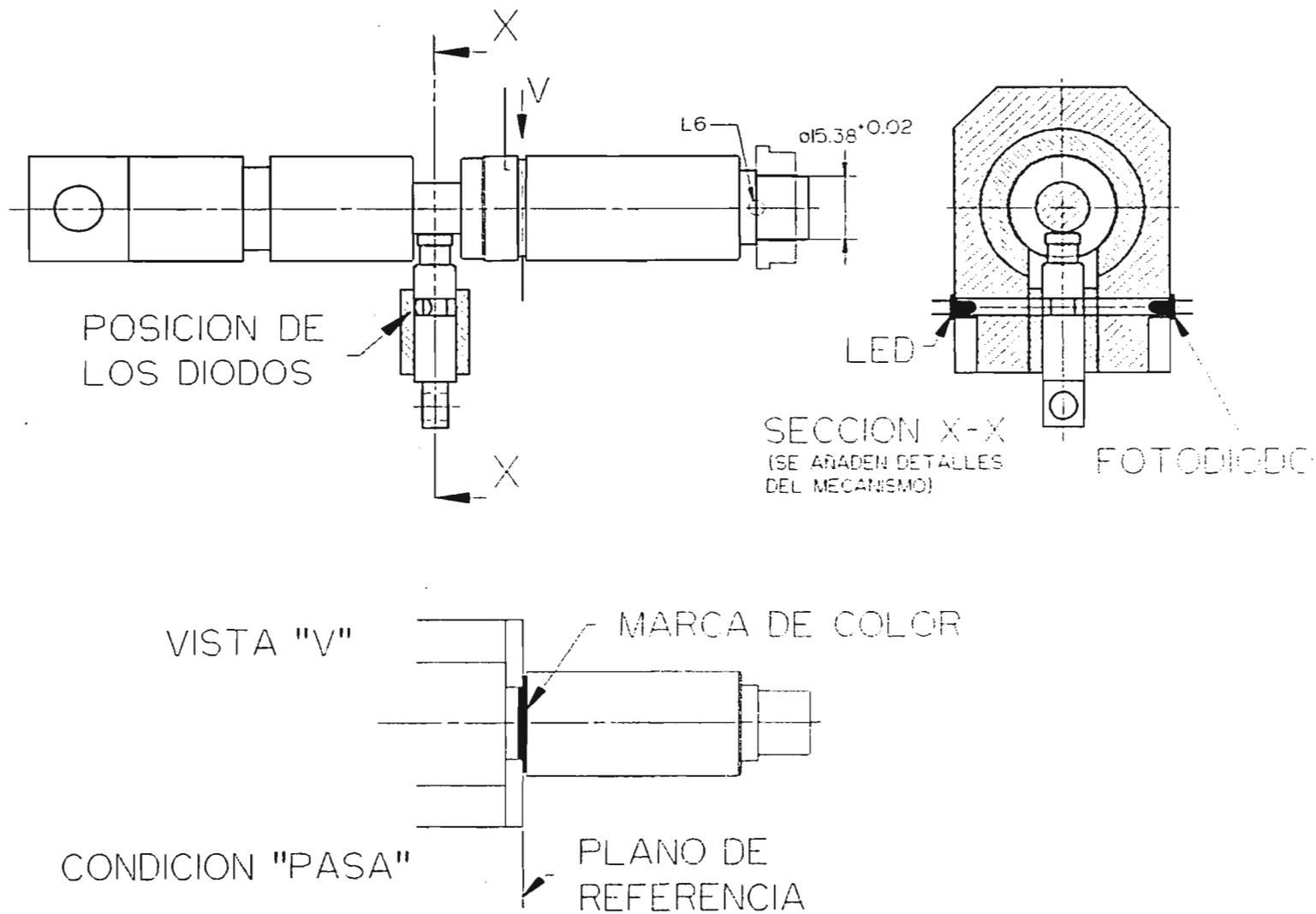


Figura 6.15. Inspección de un buje M18x1.5 con posición correcta

Sub-componente: Elementos de guía para los elementos de prueba (con característica anti-giro)		
Alternativas de diseño	Selecc.	Criterios de selección
a) Eje guía de sección cuadrada		El eje cuadrado es de uso común en estos dispositivos, pero la experiencia que tuvimos al aplicarlo en dispositivos anteriores es que resulta
b) Emplear dos ejes guía cilíndricos	x	muy difícil conseguir un ajuste satisfactorio entre el eje y el "buje cuadrado", además de que son escasos los bronce en cuadrado o solera para hacer el buje. El problema se soluciona bien con dos ejes cilíndricos y proporciona un excelente ajuste, aunque requiere fabricar más piezas.

Sub-componente: Elementos de prueba para perfiles de tubos		
Alternativas de diseño	Selecc.	Criterios de selección
a) Uniones de placas perpendiculares en "C" o en "L"	x	Aunque vimos algunas aplicaciones de secciones en "C" a partir de medio cilindro hueco, el
b) Secciones de medio cilindro hueco		sistema de placas perpendiculares resulta más simple de fabricar.

b) Vistas principales de los módulos de inspección de las ramas (B.2.1, B.2.2 y B.2.3):

Figura 6.16. Se muestra el mecanismo genérico, y una pieza de prueba hipotética (placas en "L"); emplearemos esa pieza para explicar el funcionamiento del módulo.

Figuras 6.17.a,b,c. Muestran los módulos B.2.1, B.2.2 y B.2.3 respectivamente, con sus bases y sus piezas de prueba reales.

c) Listado de piezas de los módulos de inspección de las ramas (B.2.1, B.2.2 y B.2.3):

Se listan solamente las piezas que son nuevas en este grupo.

Pieza N°	Descripción	Material
28	Cuerpo principal del mecanismo	AISI-SAE 1018 CR.
29	Buje guía del perno 31	Bronce al aluminio CA625 (UNS C62500).
30	Buje guía del perno 32	Bronce al aluminio CA625 (UNS C62500).
31	Perno principal	AISI O6. Temple a 58-60 Rc.
32	Perno principal	AISI O6. Temple a 58-60 Rc.
33	Acoplamiento del cilindro carrera 2"	AISI-SAE 1018 CR.
34	Placa de unión de pernos principales	AISI-SAE 1018 CR.
35	Placa de inspección (principal)	AISI D2. Temple a 56-58 Rc.

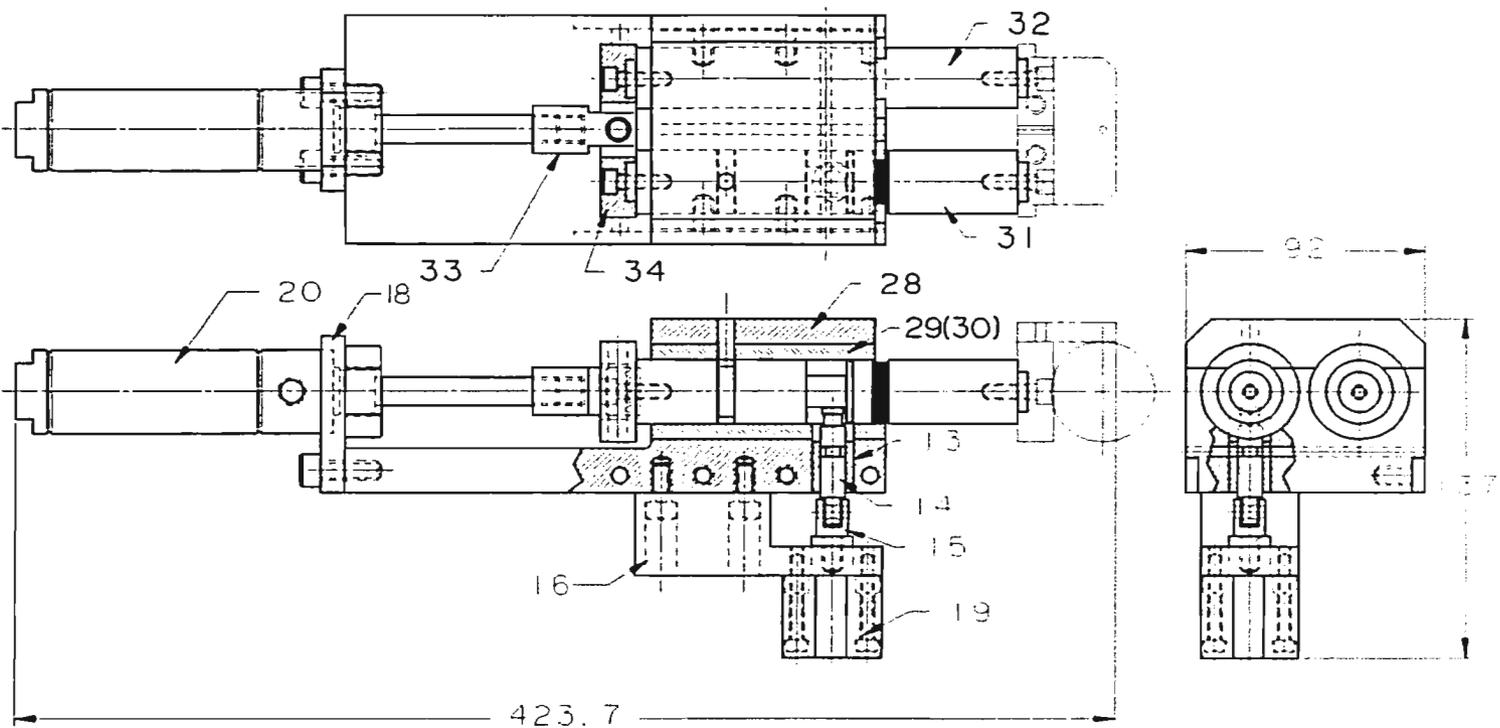


Figura 6.16. Mecanismo genérico de los módulos de inspección de las ramas

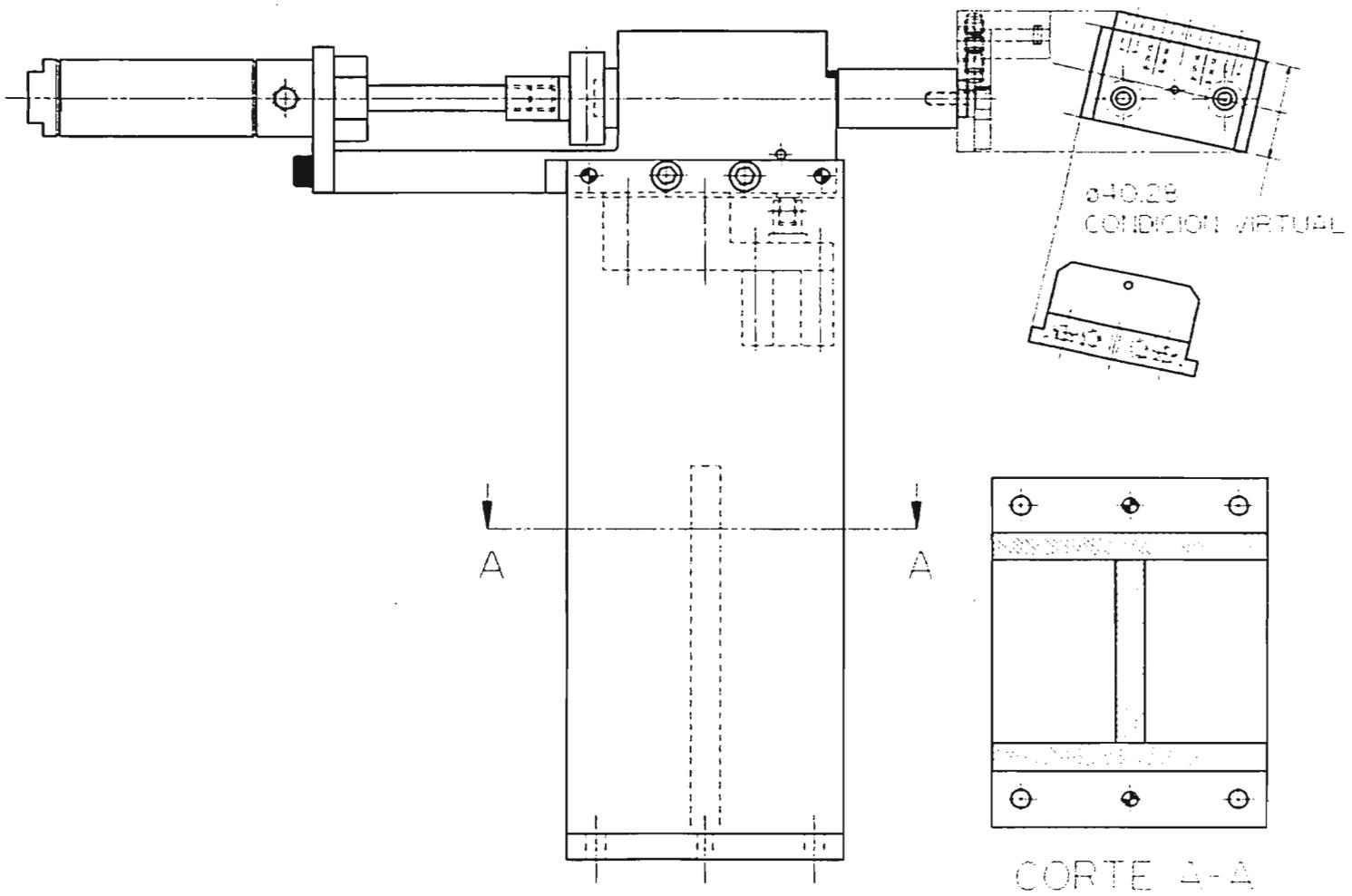


Figura 6.17.a.. Ensamble completo del módulo de inspección de la rama 1

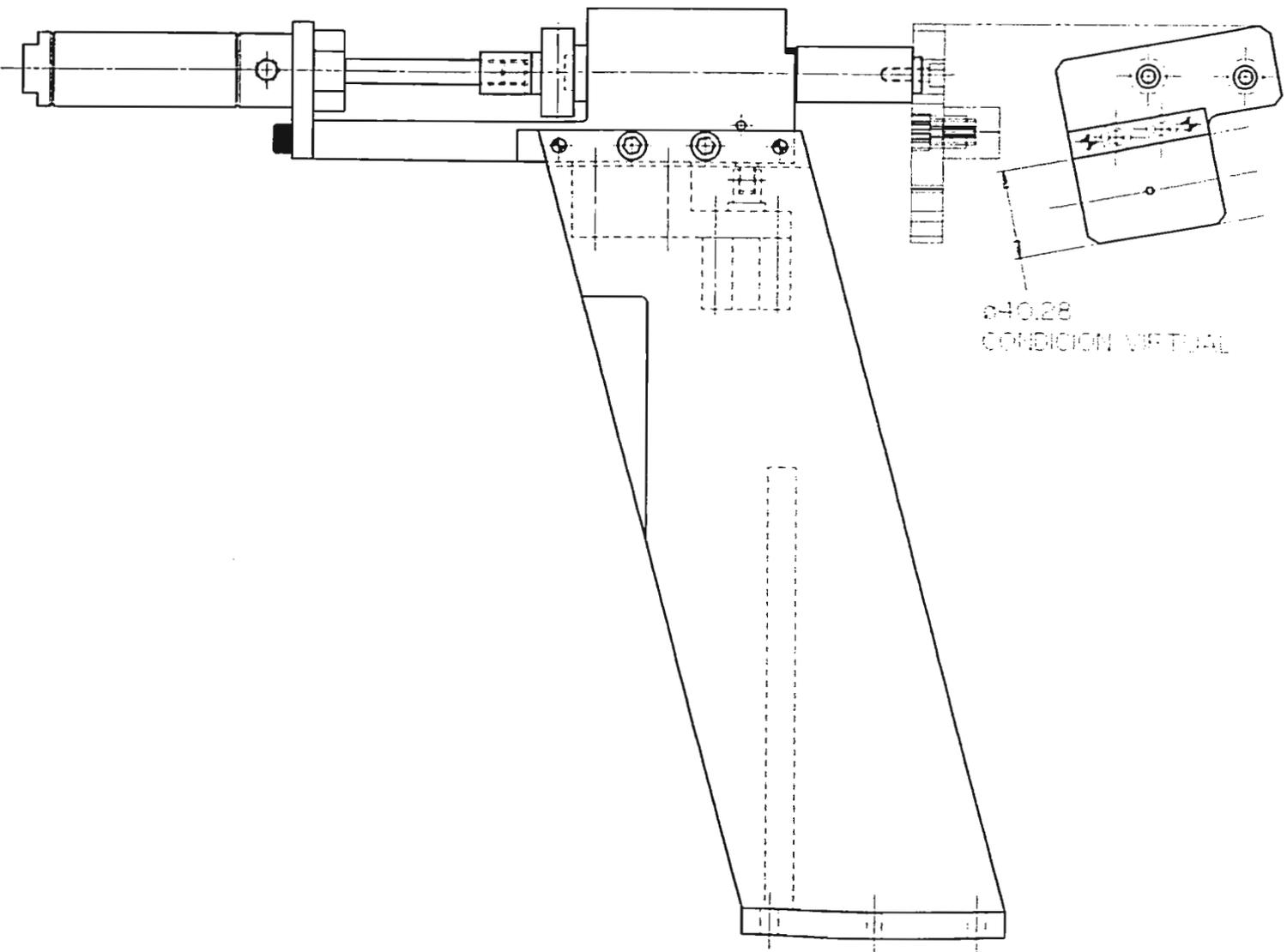


Figura 6.17. b.. Ensamble completo del módulo de inspección de la rama 4

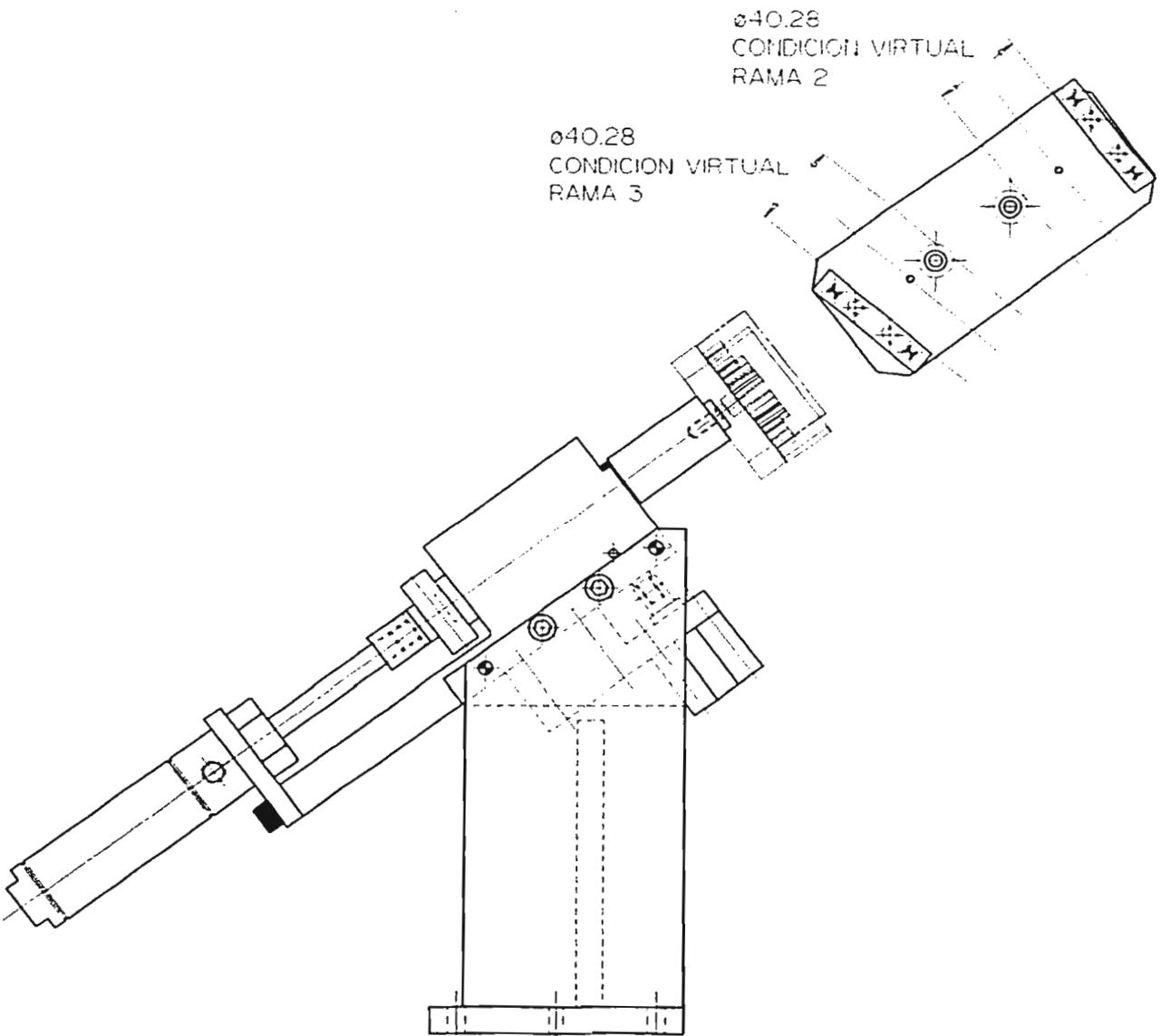


Figura 6.17.c. Ensamble completo del módulo de inspección de las ramas 2 y 3

36	Placa de inspección (principal)	AISI D2. Temple a 56-58 Rc.
37	Placa de inspección (principal)	AISI D2. Temple a 56-58 Rc.
38	Placa de inspección (complementaria)	AISI D2. Temple a 56-58 Rc.
39	Placa de inspección (complementaria)	AISI D2. Temple a 56-58 Rc.
40	Placa de inspección (complementaria, rama 3)	AISI D2. Temple a 56-58 Rc.
41	Placa de inspección (complementaria, rama 2)	AISI D2. Temple a 56-58 Rc.
42	Base del módulo de inspección de rama 1	Construcción soldada y maquinada formada por placas AISI-SAE 1018 CR
43	Base del módulo de inspección de rama 4	Construcción soldada y maquinada formada por placas AISI-SAE 1018 CR
44	Base del módulo de inspección de ramas 2 y 3	Construcción soldada y maquinada formada por placas AISI-SAE 1018 CR

d) Descripción del funcionamiento de los módulos de inspección de las ramas:

1. Tubo en condición "PASA" . La condición para que la sección de tubo inspeccionada pueda considerarse en condición "PASA", consiste en que dicha sección quede contenida completamente dentro de la zona de condición virtual. La figura 6.18.a muestra una sección de tubo cuyo eje coincide con el eje teórico. Como puede verse, la zona de condición virtual está limitada principalmente por el perímetro de un cuarto de círculo de diámetro $\varnothing 40.28$; este valor fue calculado en el capítulo 3, sección 3.2.4. Se le ha dado esta forma a la condición virtual porque el tubo corre riesgo de tocar la tolva protectora cuando invade la zona asegurada que se muestra en la misma figura.

2. Tubos en condición "NO PASA". Las figuras 6.18.b y 6.18.c muestran dos formas en que una sección de tubo puede rebasar la zona de la condición virtual, y el efecto de cada una sobre el mecanismo de inspección.

3. Inspección en la máquina CMM. Se comienza por colocar el perno guía en su posición teórica por medio del perno de fijación (pieza 21). El objetivo ahora es verificar los puntos 1.A, 2.A, 3.A y 4.A que se encuentran sobre el eje de las ramas respectivas (v. figura 2.4). Como estos son puntos que no se hallan sobre una porción física del múltiple, la verificación de éstos la haremos en forma indirecta, insertando dos pernos cilíndricos en los barrenos que para este efecto se han perforado en las placas de prueba. Como se muestra en la figura 6.18.d, los ejes de estos pernos teóricamente se deben intersectar en el punto que vamos a verificar (1.A, 2.A, 3.A ó 4.A). La verificación indirecta la haremos obteniendo los puntos INTERSECCION 1 e INTERSECCION 2. Las posiciones reales de

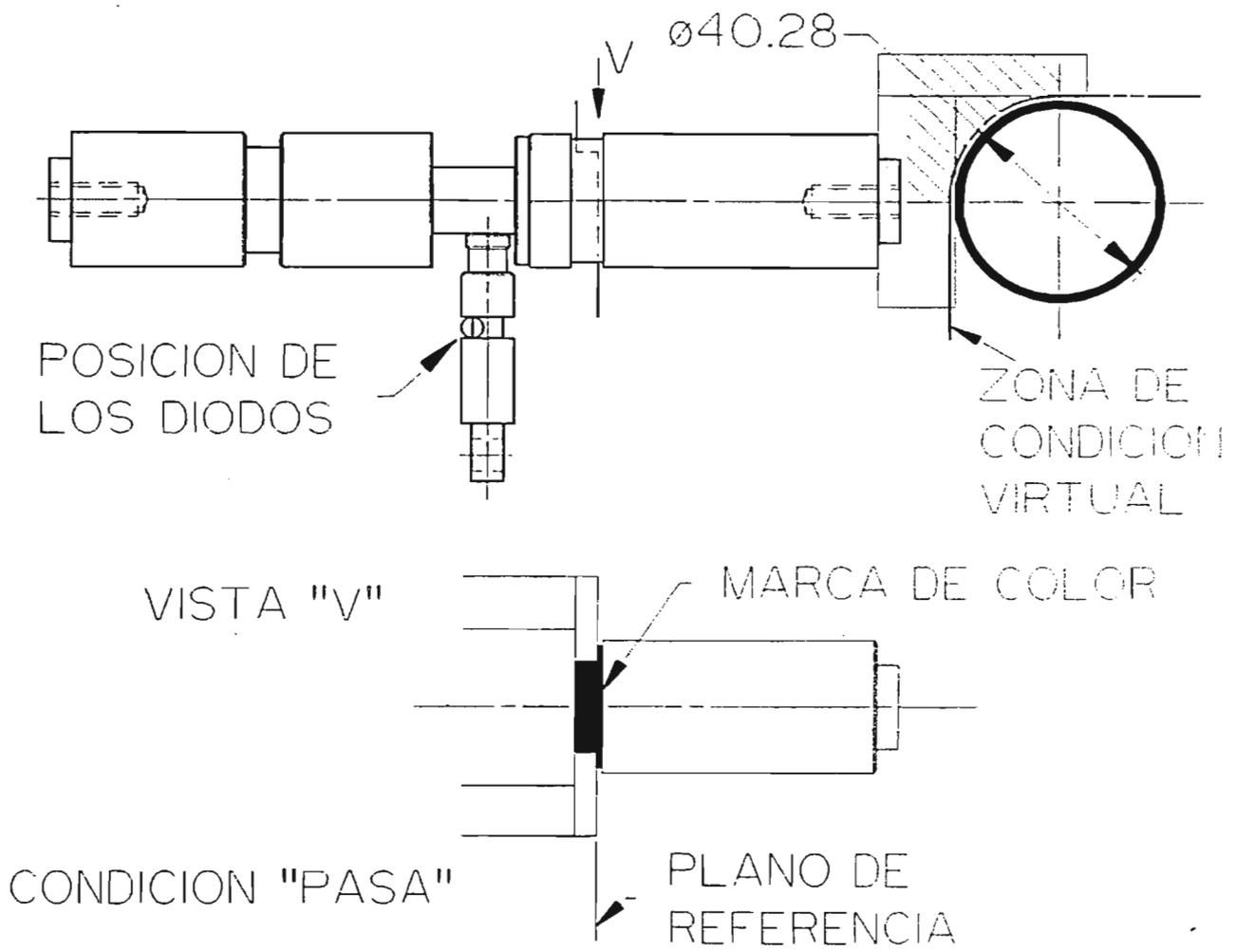


Figura 6.18.a. Inspección de una sección de tubo en
 condición "PASA"

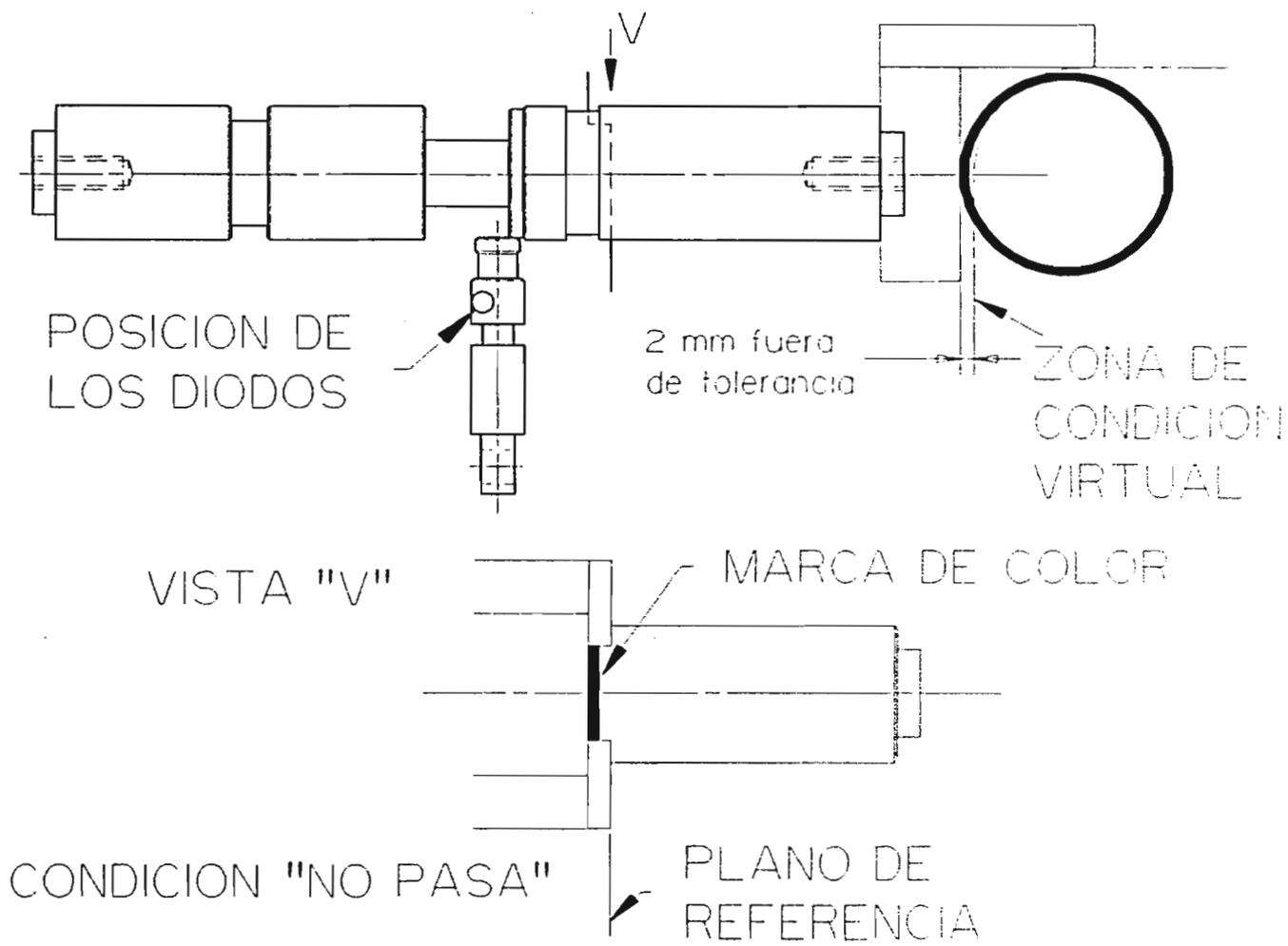


Figura 6.18.b. Inspección de una sección de tubo en condición "NO PASA". Ejemplo I

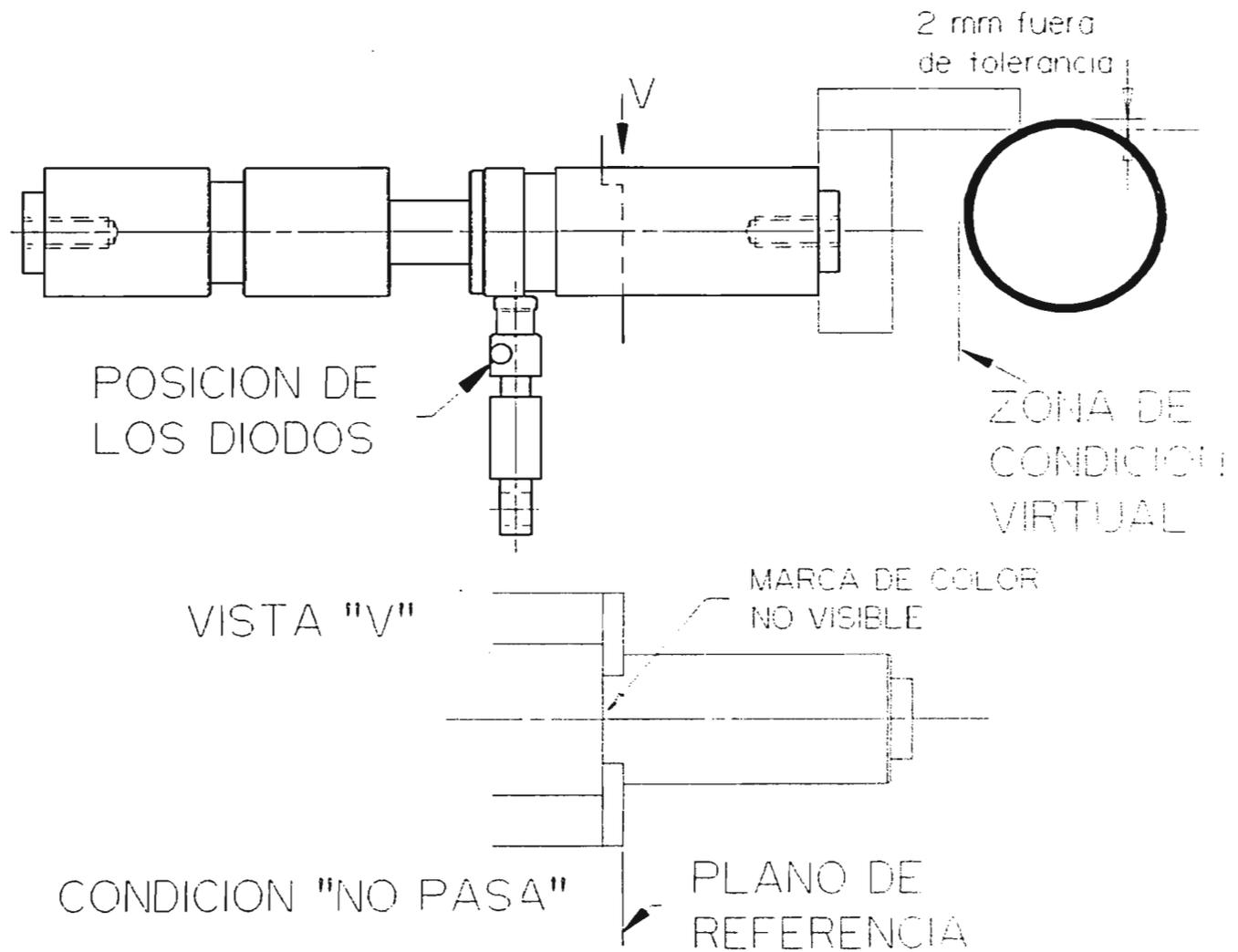


Figura 6.18.c. Inspección de una sección de tubo en condición "NO PASA". Ejemplo 2

ambos puntos las compararemos con las posiciones teóricas, que se obtienen del modelo de CADD.

Como en este caso se trata de una medición indirecta, en la cual la acumulación de tolerancias aumenta por la presencia de elementos físicos adicionales (los dos pernos cilíndricos, y los barrenos en los que van insertados), no nos queda más remedio que ampliar la tolerancia del dispositivo en este caso concreto. Si la tolerancia normal es máximo 10% de la tolerancia de la característica geométrica, emplearemos ahora un máximo del 20%. Con este dato, y habiendo hecho los cálculos correspondientes, el criterio de aceptación de los módulos de inspección de las ramas lo estableceremos de la siguiente manera:

Distancia entre el punto INTERSECCION 1 teórico y el punto INTERSECCION 1 REAL = 0.2 mm máximo.

Distancia entre el punto INTERSECCION 2 teórico y el punto INTERSECCION 2 REAL = 0.2 mm máximo.

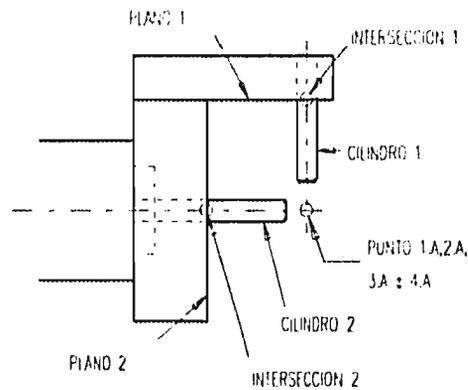


Figura 6.18.d. Inspección CMM de los puntos 1.A, 2.A, 3.A y 4.A

B.3. Módulo de inspección de brida triangular (Pruebas 5, 6 y 7)

a) Evaluación y selección de alternativas de diseño para cada sub-componente:

Sub-componente: Dispositivo para centrar la brida triangular (genera el dato D)		
Alternativas de diseño	Selecc.	Criterios de selección
a) Cono centrador		Un cono centrador hubiera tenido el problema de comprimir la cabeza flexible. Las dimensiones del borde exterior de la brida no son lo bastante precisas para centrar la brida adecuadamente. En cambio, los centradores de balines son una apli-

b) Centrador de balines	x	cajón de uso común para centrar tubos u otras
c) Mecanismo para fijar radialmente la brida por su borde exterior		cavidades cilíndricas de diámetro variable. El funcionamiento de este centrador se verá en la sección de descripción de funcionamiento de nuestro mecanismo.

Sub-componente: Prueba de los barrenos de la brida triangular		
Alternativas de diseño	Selecc.	Criterios de selección
a) Usar tres pernos de prueba deslizantes, cada uno conducido por un buje guía.		La opción (a) se usó en el diseño anterior, pero en este nuevo diseño resultaba muy complejo diseñar el mecanismo de conducción para tres
b) Usar una placa con tres pernos de prueba atornillados. La placa es conducida por dos pernos guía.	x	pernos independientes, sobre todo porque se cuenta con muy poco espacio. La opción (b) resulta más fácil de construir, y además la placa de pernos sirve a la vez para probar la longitud total del múltiple. la única desventaja es que la acumulación de tolerancias puede ser mayor en este nuevo mecanismo, por lo que se requiere de una construcción muy precisa.

b) Vista(s) principal(es) del módulo de inspección de la brida triangular (B.3):

Figura 6.19.a. Detalle del mecanismo principal. Se ha omitido mostrar la placa de prueba de los barrenos de la brida triangular.

Figura 6.19.b. Placa de prueba de la brida triangular.

Figura 6.19.c. Soporte del mecanismo.

Figura 6.19.d. Ensamble completo del módulo B.3.

c) Piezas del módulo de inspección de la brida triangular:

Pieza N°	Descripción	Material
45	Cuerpo principal del mecanismo	AISI-SAE 1018 CR.
46	Buje guía del perno 48	Bronce al aluminio CA625 (UNS C62500).
47	Buje guía del perno 49	Bronce al aluminio CA625 (UNS C62500).
48	Perno guía principal	AISI O6. Temple a 58-60 Rc.
49	Perno guía secundario	AISI O6. Temple a 58-60 Rc.
50	Buje guía del perno 53	Bronce al aluminio CA625 (UNS C62500).
51	Perno actuador de los balines	AISI O6. Temple a 58-60 Rc.
52	Buje guía del perno 51	Bronce al aluminio CA625 (UNS C62500).
53	Perno principal del mecanismo centrador	AISI O6. Temple a 58-60 Rc.

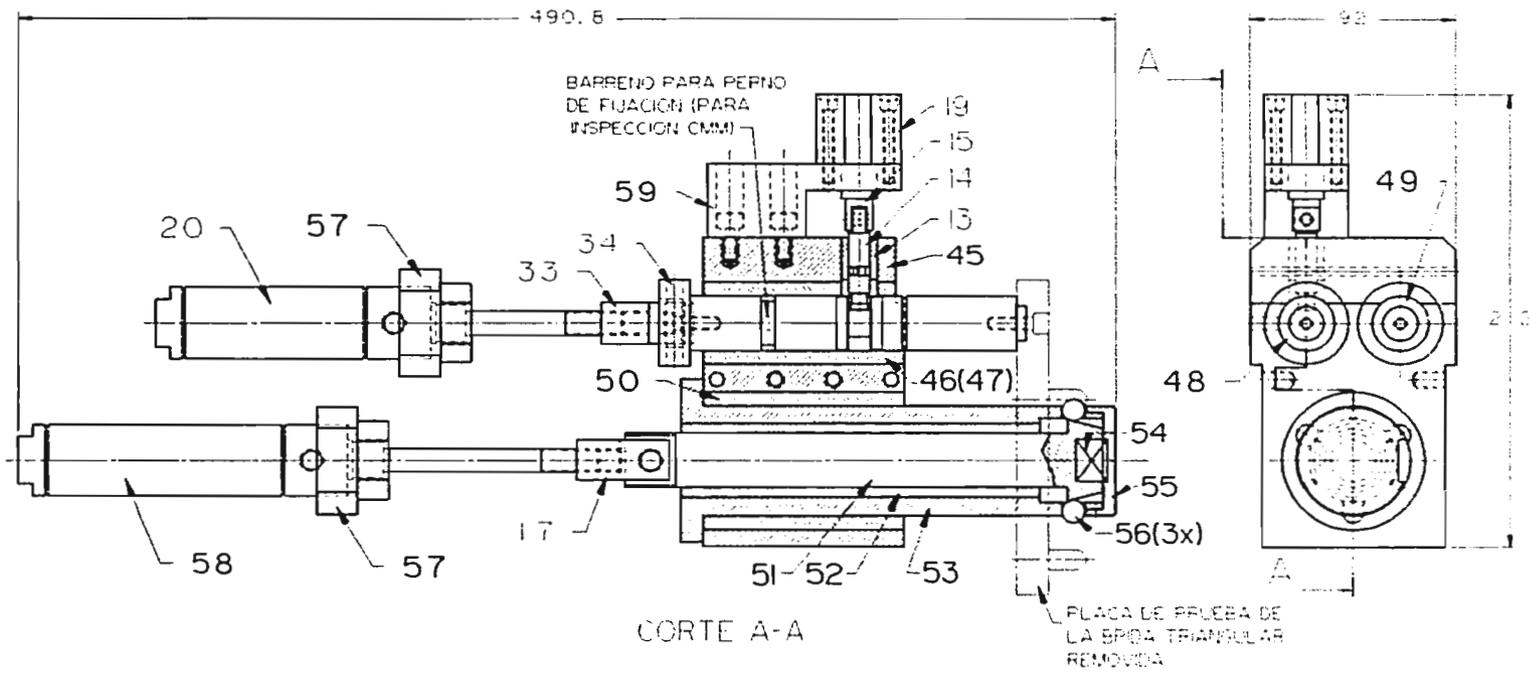


Figura 6.19 a. Detalle del mecanismo principal de inspección de la brida triangular

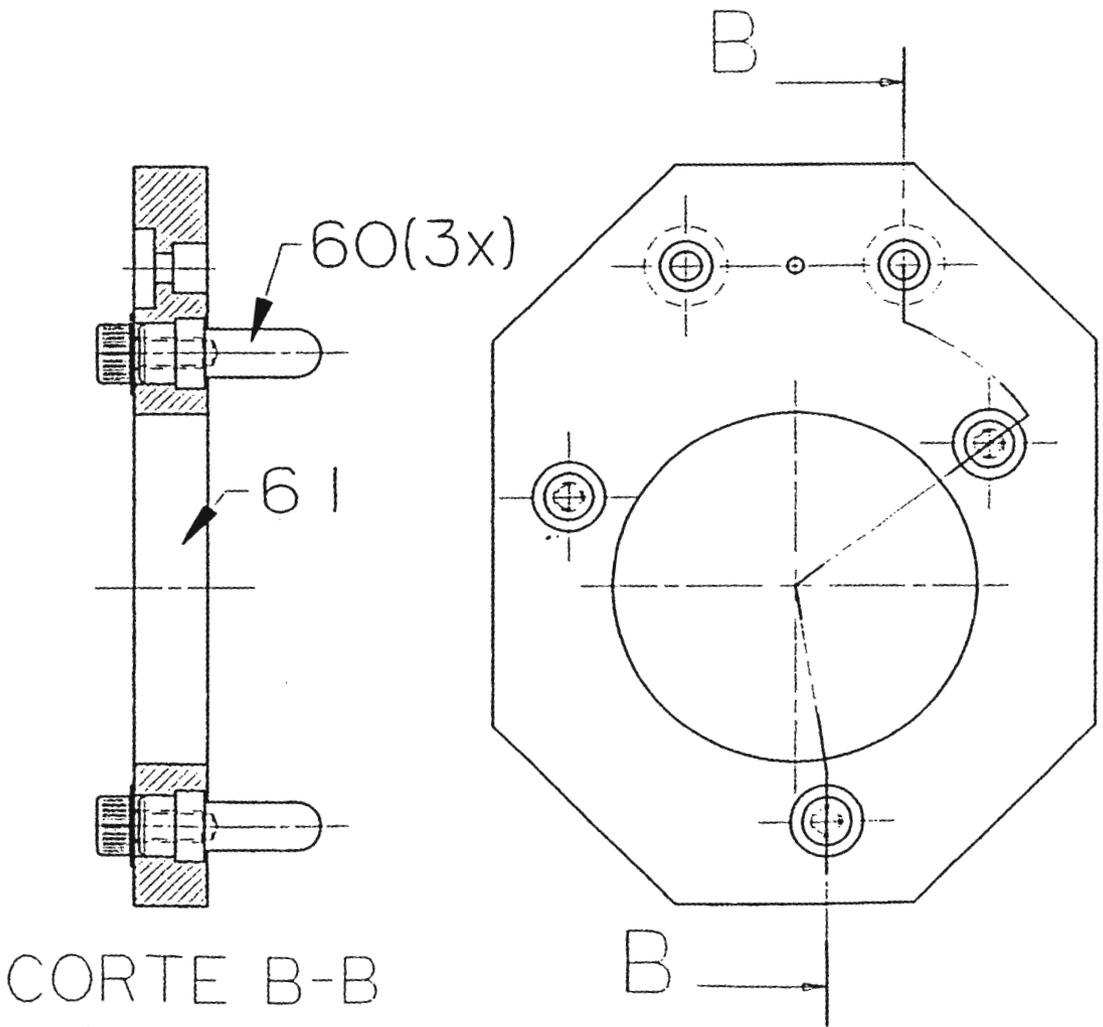


Figura 6.19.b. Placa de prueba de los barrenos de la brida triangular.

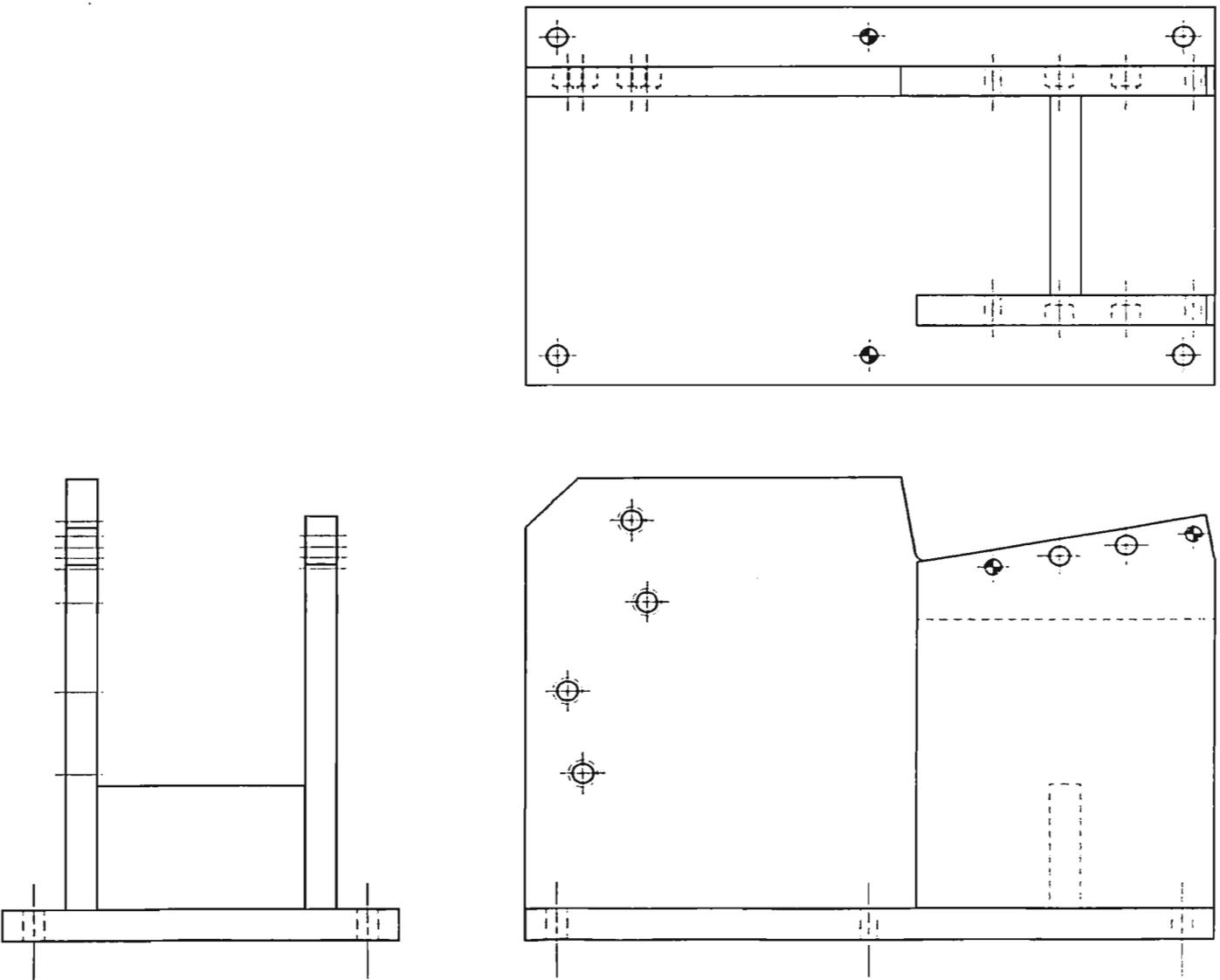


Figura 6.19.c. Soporte del mecanismo de inspección de la brida triangular.

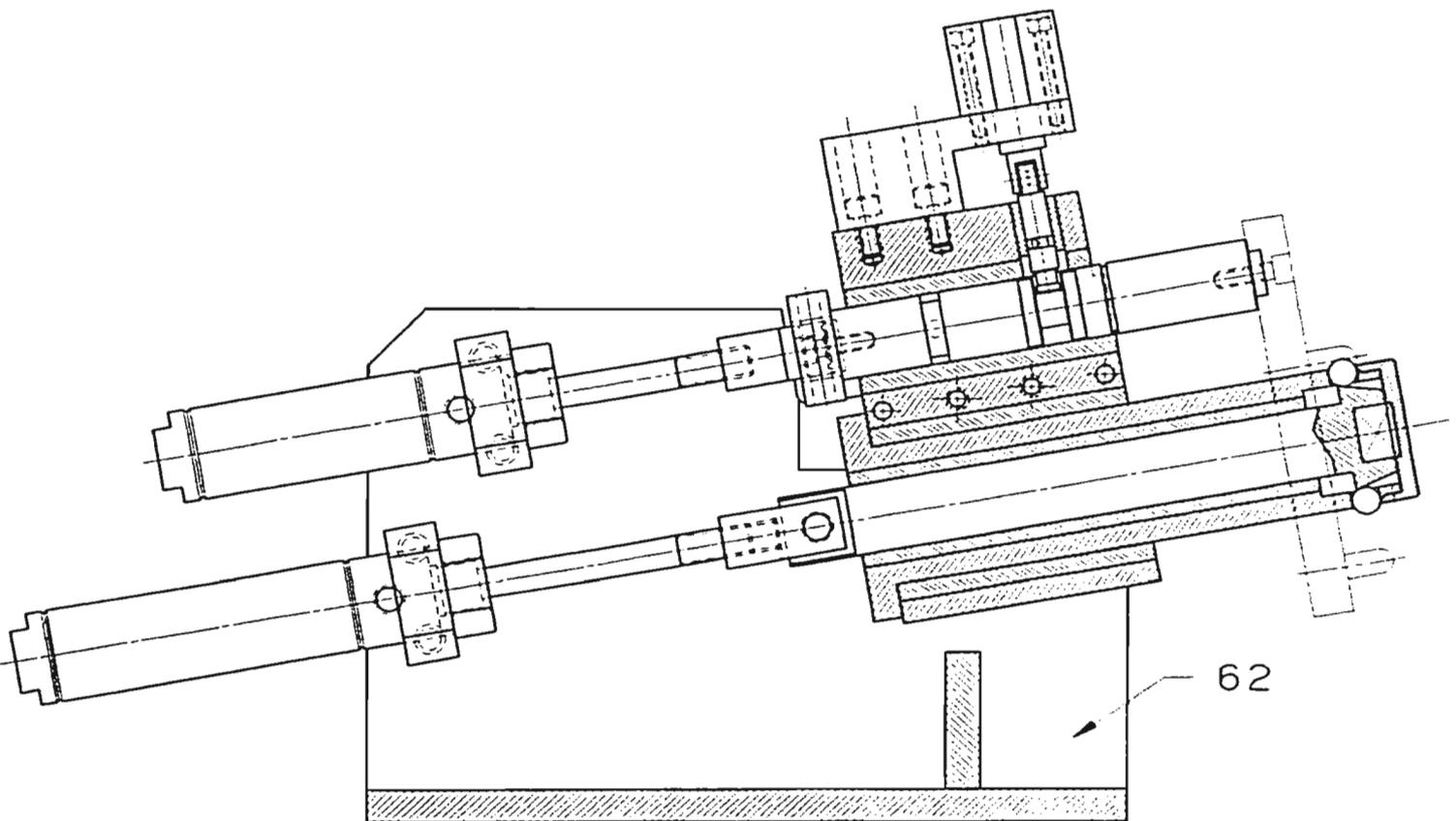


Figura 6.19.d. Ensamble completo del módulo de inspección de la brida triangular

54	Resorte	Alambre piano ASTM A228 .080". Especificaciones del resorte: resorte helicoidal simple, diámetro D=18 +1/-0 mm, 5 espiras, paso 5 +0.3/-0 mm.
55	Tapa del perno principal	AISI D2. Temple a 56-58 Rc.
56	Balines	Balín 10 mm de acero al carbón, grado 0, mín. 60 Rc
57	Soportes de los cilindros neumáticos de carrera larga	AISI-SAE 1018 CR.
58	Cilindro neumático carrera 3"	
59	Soporte del cilindro neumático de carrera corta	AISI-SAE 1018 CR.
60	Pernos de prueba de la brida triangular	AISI D2. Temple a 56-58 Rc.
61	Placa de pernos	AISI D2. Temple a 56-58 Rc.
62	Base del módulo de la brida triangular	Construcción soldada y maquinada formada por placas AISI-SAE 1018 CR

d) Descripción del funcionamiento módulo de inspección de la brida triangular:

El elemento B.3 consta realmente de dos mecanismos diferentes, uno que centra la brida triangular y otro que prueba los barrenos de la brida y la longitud del múltiple. Sin embargo, las piezas 45 (cuerpo principal) y 62 (base del módulo) sirven de soporte a ambos mecanismos, por lo cual los estamos considerando como si se tratara de un solo módulo. A continuación describiremos el funcionamiento de cada mecanismo.

d.1) Descripción del funcionamiento del mecanismo para generar el dato D (centrador de la brida):

1. El objeto de este mecanismo es llevar el punto K del múltiple (centro de la cara externa de la brida triangular) a su posición teórica, de tal manera que tengamos el dato D fijo antes de probar los barrenos de la brida triangular.

2. En la figura 6.20.a se muestra cómo, en la etapa 1 del proceso el conjunto formado por el perno principal, el perno actuador interno y los balines (que son tres), se encuentra separado de la brida triangular.

3. En la etapa 2 el conjunto es desplazado por la acción del cilindro neumático de 3". Dicho cilindro va acoplado al perno actuador interno. El conjunto avanza hasta que el perno principal llega a tope; en este momento, una porción del conjunto ha quedado dentro del codo de salida, incluyendo los balines.

4. Como en la etapa 2 al cilindro neumático aún no ha llegado al fin de su carrera, el vástago del cilindro sigue empujando hacia adelante al perno actuador, debido a la presencia del resorte, mientras que el perno principal se queda fijo. En

este momento, la punta cónica del perno actuador comienza a desplazar a los balines hacia afuera, hasta que topan con la pared interna del codo de salida. Este efecto da como resultado que los balines centran al codo de salida, llevándolo a su posición teórica.

5. En el detalle inferior de la figura se muestra cómo el diseño de la tapa impide que los balines lleguen a salirse por completo de su alojamiento.

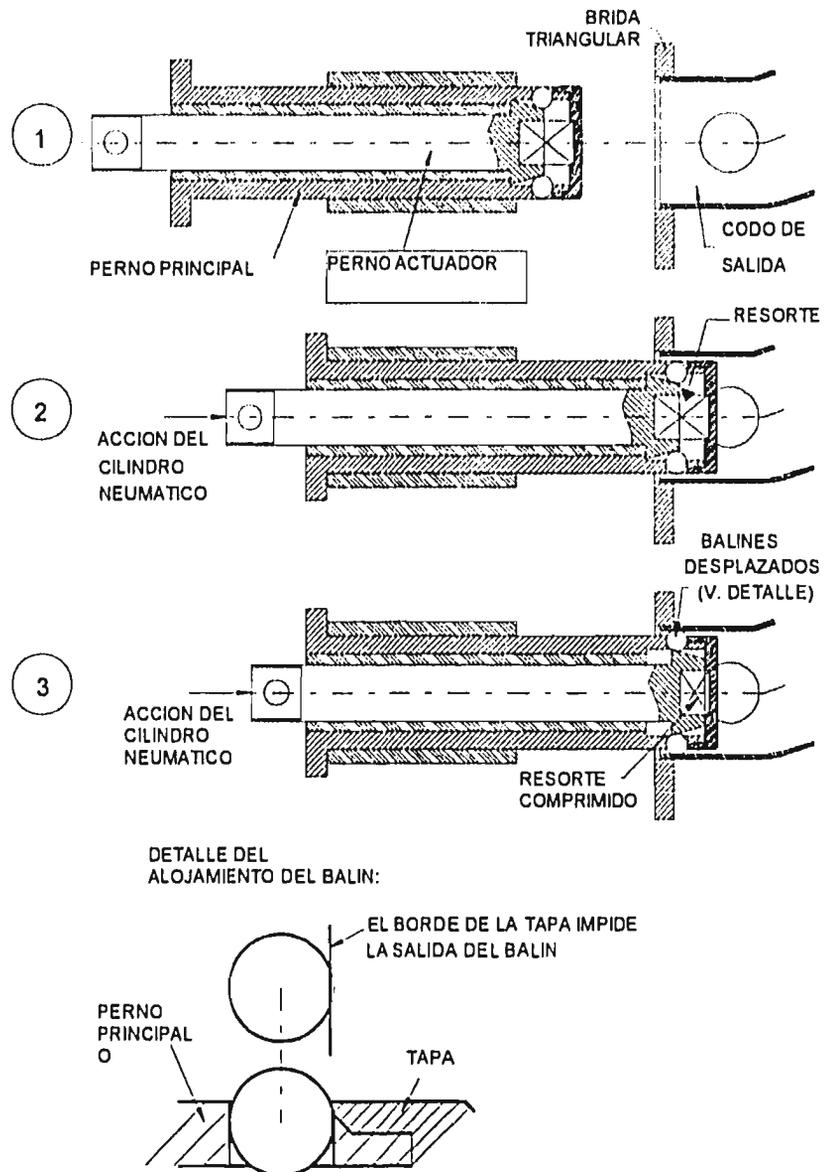


Figura 6.20.a. Acción del mecanismo que genera el dato D (centrador de la brida)

d.2) Descripción del funcionamiento del mecanismo para probar la posición de los barrenos de la brida triangular (prueba 6) y la longitud total del múltiple (prueba 7-coordenada "X" del punto K):

1. Para que la descripción se entienda correctamente, en la figura 6.20.b se muestra el corte de la placa de pernos y de la brida triangular que se empleará en los dibujos sucesivos.

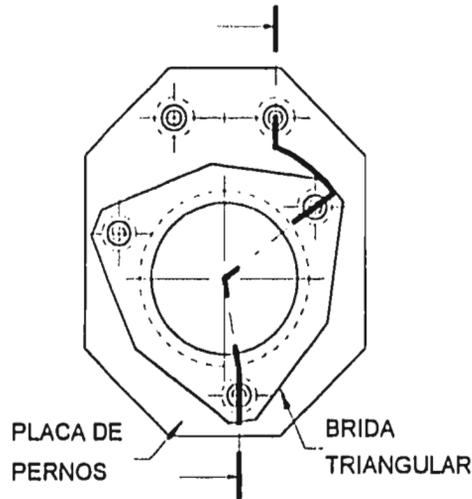


Figura 6.20.b. Corte de la placa de pernos y la brida triangular

2. Pieza en condición "PASA". En la figura 6.20.c se muestra, en la etapa 1, la posición inicial del mecanismo respecto de una pieza teóricamente correcta, tanto por la posición de los barrenos de la brida como por la posición del punto K. El mecanismo de prueba está diseñado de tal manera que, para que se pueda abrir la ventana de los LEDs, los tres pernos de la placa deben atravesar completamente los barrenos de la brida triangular, y la placa de pernos debe llegar a tope con la superficie de la brida triangular. Esta condición se muestra en la etapa 2 de la figura.

3. Piezas en condición "NO PASA". La figura 6.20.d muestra varios casos de piezas en esta condición. En todos ellos, el perno vertical de prueba no logra entrar en el entalle del perno principal y, por tanto, la ventana de los LEDs permanece cerrada. En el caso 1, los barrenos de la brida triangular se hallan fuera de posición, en este caso por un ángulo deficiente de la brida; ocurre entonces el atoramiento de los tres pernos de la placa. El caso 2 un múltiple con largo excesivo, mientras que el caso 3 muestra un múltiple con largo insuficiente; en ambos casos puede verse cómo el punto K queda fuera de la zona de tolerancia de 2.00 mm (cfr. capítulo 3, apartado 3.2.8).

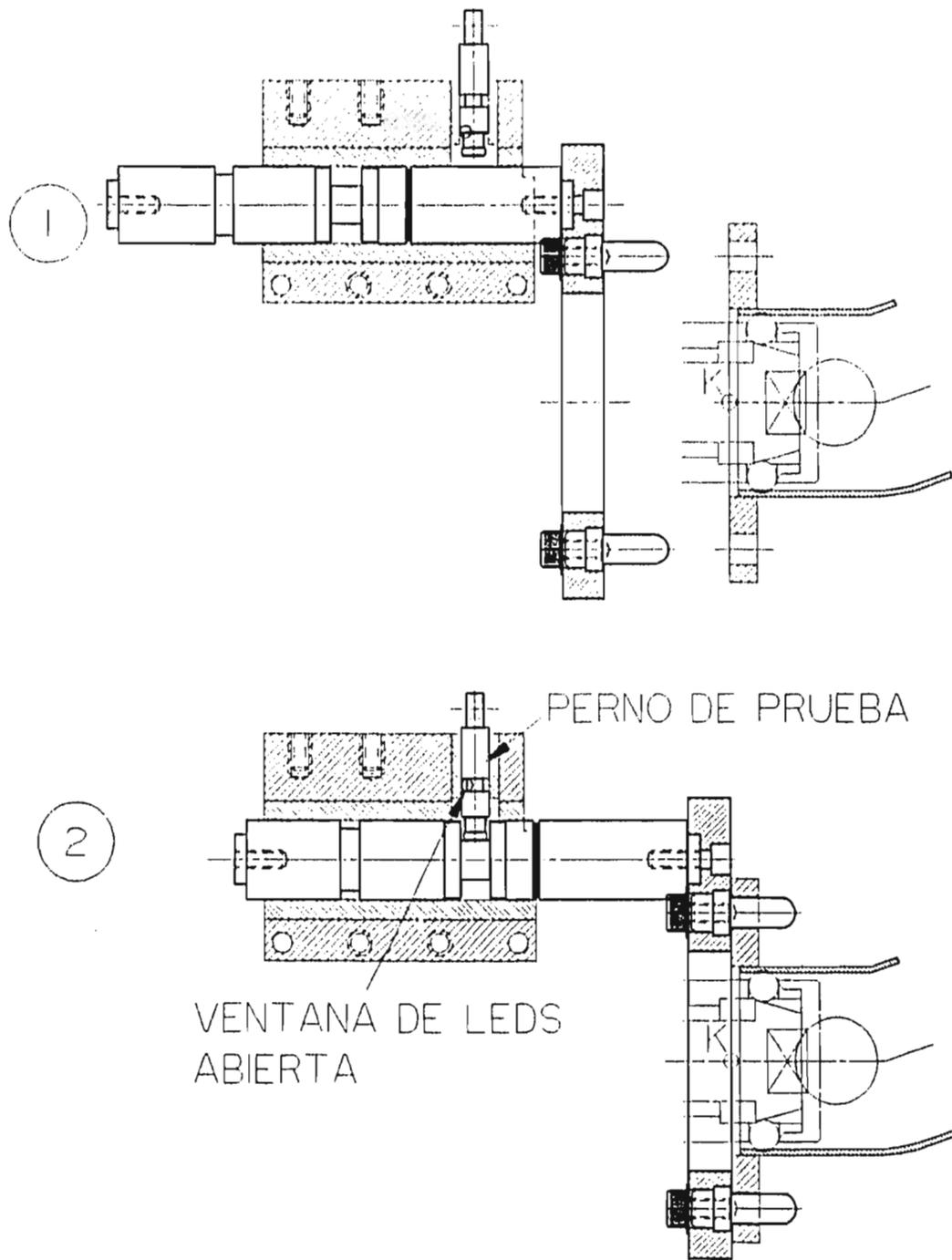


Figura 6.20.c. Inspección de una brida triangular en condición "PASA"

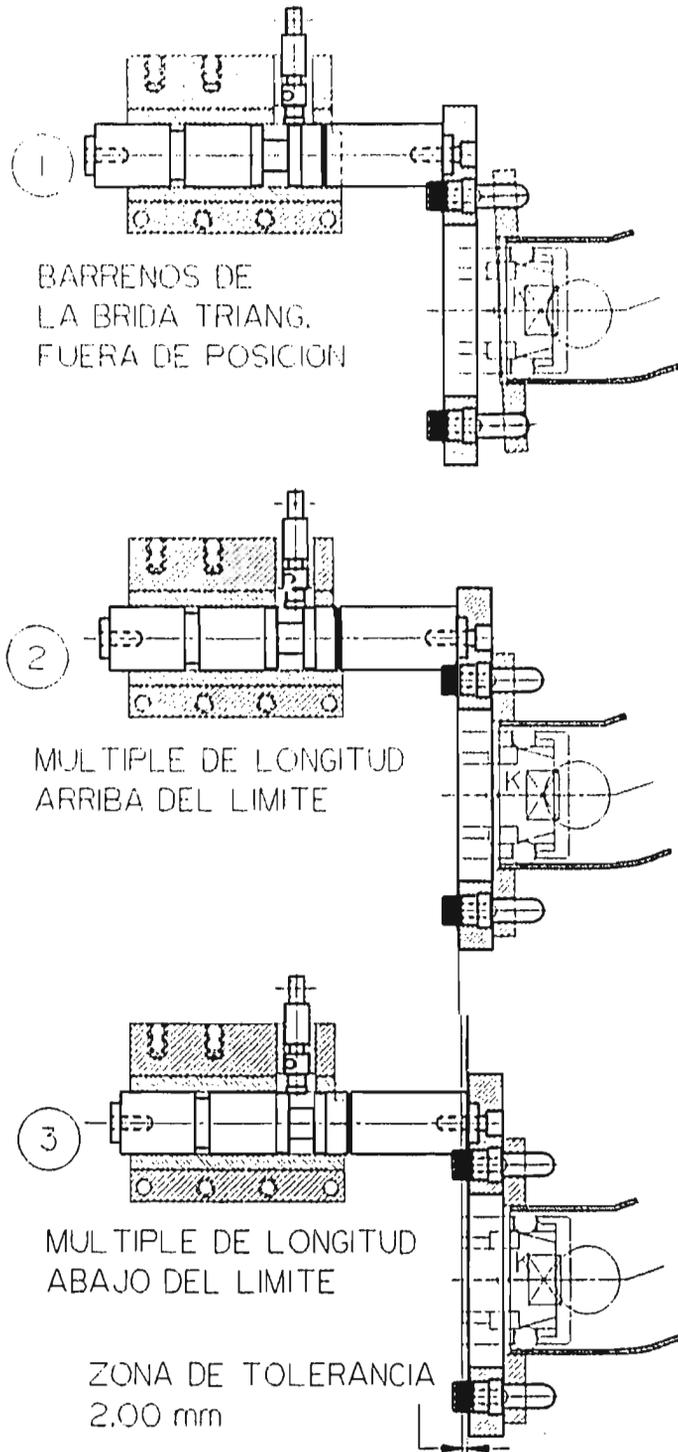


Figura 6.20.d. Inspección de bridas triangulares en condición "NO PASA"

Inspección en máquina CMM. El único requisito de inspección CMM para el centrador de la brida triangular es que su eje tenga la tolerancia posicional correcta. Como el centrador va a servir para generar el dato D, su precisión debe ser suficientemente alta; aplicaremos por tanto la misma tolerancia que se empleó para las puntas de prueba de los bujes, es decir,



Tolerancia de posición del perno centrador de la brida (dato D)

En cuanto a la placa de pernos, el primer paso para la inspección CMM es colocar dicha placa en su posición teórica mediante el perno de fijación. Este perno deberá insertarse en el barreno que se indica en la figura 6.19.a. Las características que deben ser comprobadas en este caso son la tolerancia posicional de los tres pernos, y la coordenada X del punto K generado en el centro de la placa. Las tolerancias de dispositivo que aplicaremos en esta inspección se muestran en la figura 6.20.e.

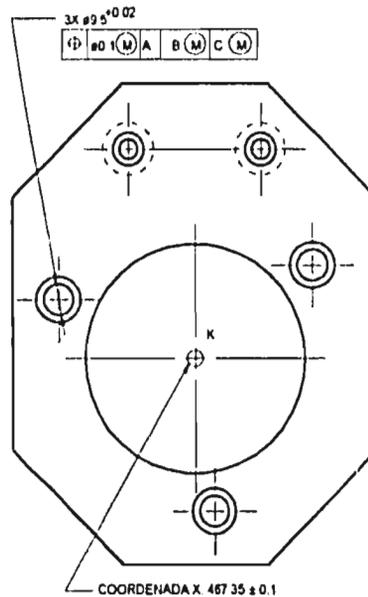


Figura 6.20.e. Tolerancias de dispositivo en la placa de pernos

C. Base del dispositivo

a) Evaluación y selección de alternativas de diseño para este componente:

Componente: Placa base		
Alternativas de diseño	Selecc.	Criterios de selección
a) Placa simple rectificada y barrenada		Las secciones de placa se puede rectificar en conjunto para formar el plano base del dispositivo, y sirven para barrenar los agujeros de los tornillos y de los pernos. En caso de estropearse algún barreno o alguna superficie, es posible reemplazarlas.
b) Placa rectangular con secciones de placa soldadas.	x	

b) Vista(s) principal(es) de la placa base: figura 6.21.

c) Piezas de la placa base:

La placa base está compuesta por la placa rectangular principal y las secciones de placa soldadas, que sirven de base para los distintos elementos del dispositivo. Dichas secciones van rectificadas en conjunto, y sobre ellas se practicarán los agujeros roscados (en las roscas pequeñas emplearemos insertos de M8x1.25 para poder reemplazar fácilmente cualquier rosca dañada) y los agujeros rimados donde se insertan los pernos localizadores ($\varnothing 8$ mm, ajuste H7).

d) Descripción del funcionamiento de la placa base:

Aunque se trata del componente más simple del dispositivo, su importancia es extraordinaria porque de él depende un buen porcentaje de la precisión del ensamble final. Los dos procesos que son críticos para garantizar la buena fabricación de esta placa son:

—Rectificado del plano base donde se asentarán los diversos módulos. El plano base está formado por las superficies de las secciones soldadas. Este proceso deberá realizarse en una rectificadora con bancada suficiente para abarcar el área de la placa base (1180 x 870 mm); el acabado debe cumplir con la especificación de planicidad de 0.02 mm, como se estableció en el capítulo 5, apartado 5.4.

—Barrenado y rimado los agujeros B3 ($\varnothing 8$ H7) que alojarán los pernos localizadores. Se deberá emplear el sistema de barrenado por coordenadas. Para establecer las direcciones X y Y del barrenado se empezará por aplicar los dos barrenos B1 y se les insertarán esferas de referencia, a fin de establecer como eje X la línea que une los centros de ambas esferas.

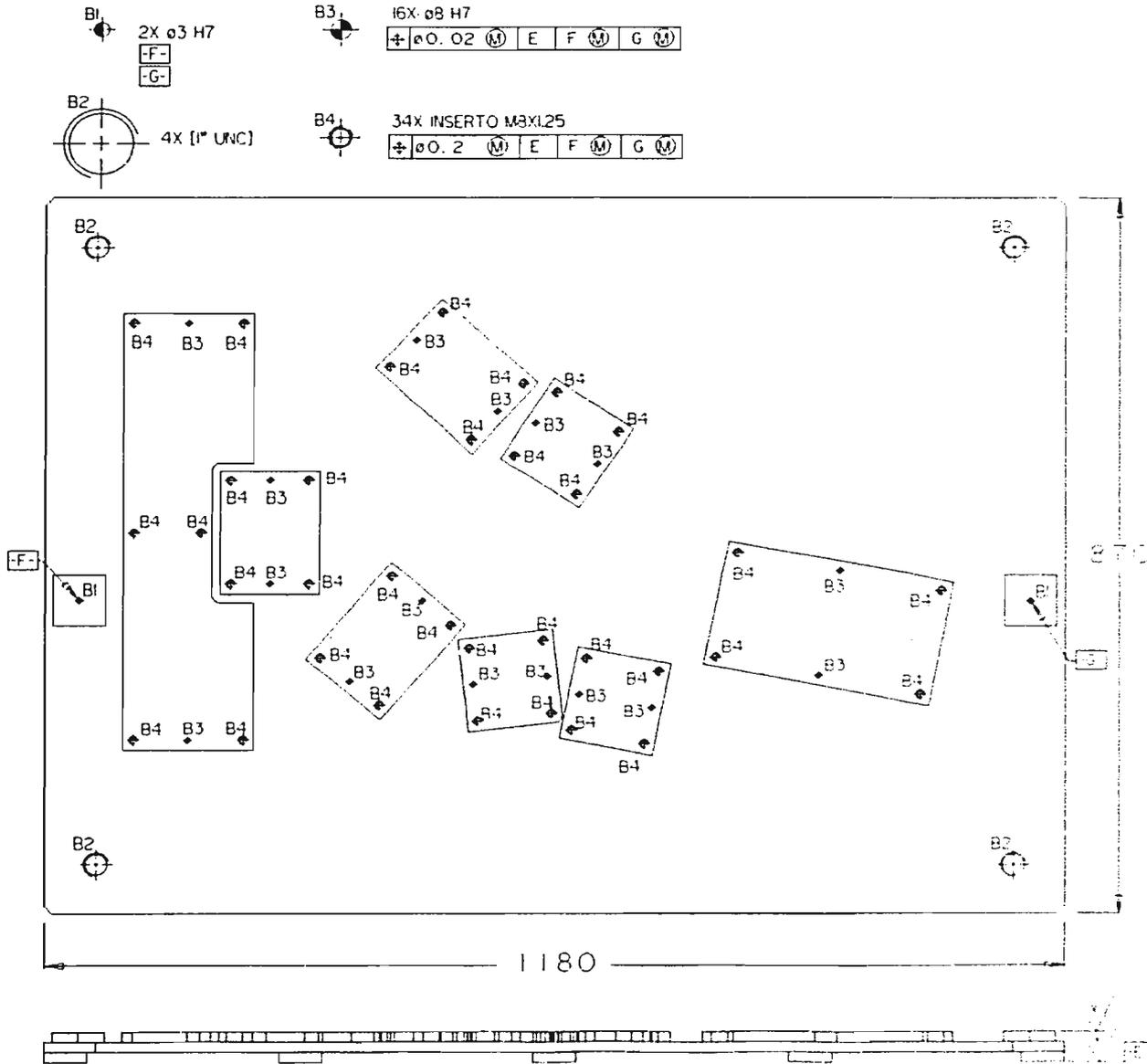


Figura 6.21. Placa base del dispositivo de inspección

D. Circuito neumático para accionar mecanismos

1. La figura 6.22.a muestra el circuito neumático que actúa los diversos mecanismos que forman el dispositivo de inspección. Antes de proceder a explicar el funcionamiento de este circuito, es importante hacer algunas aclaraciones sobre los términos "cerrado" y "abierto" que emplearemos:

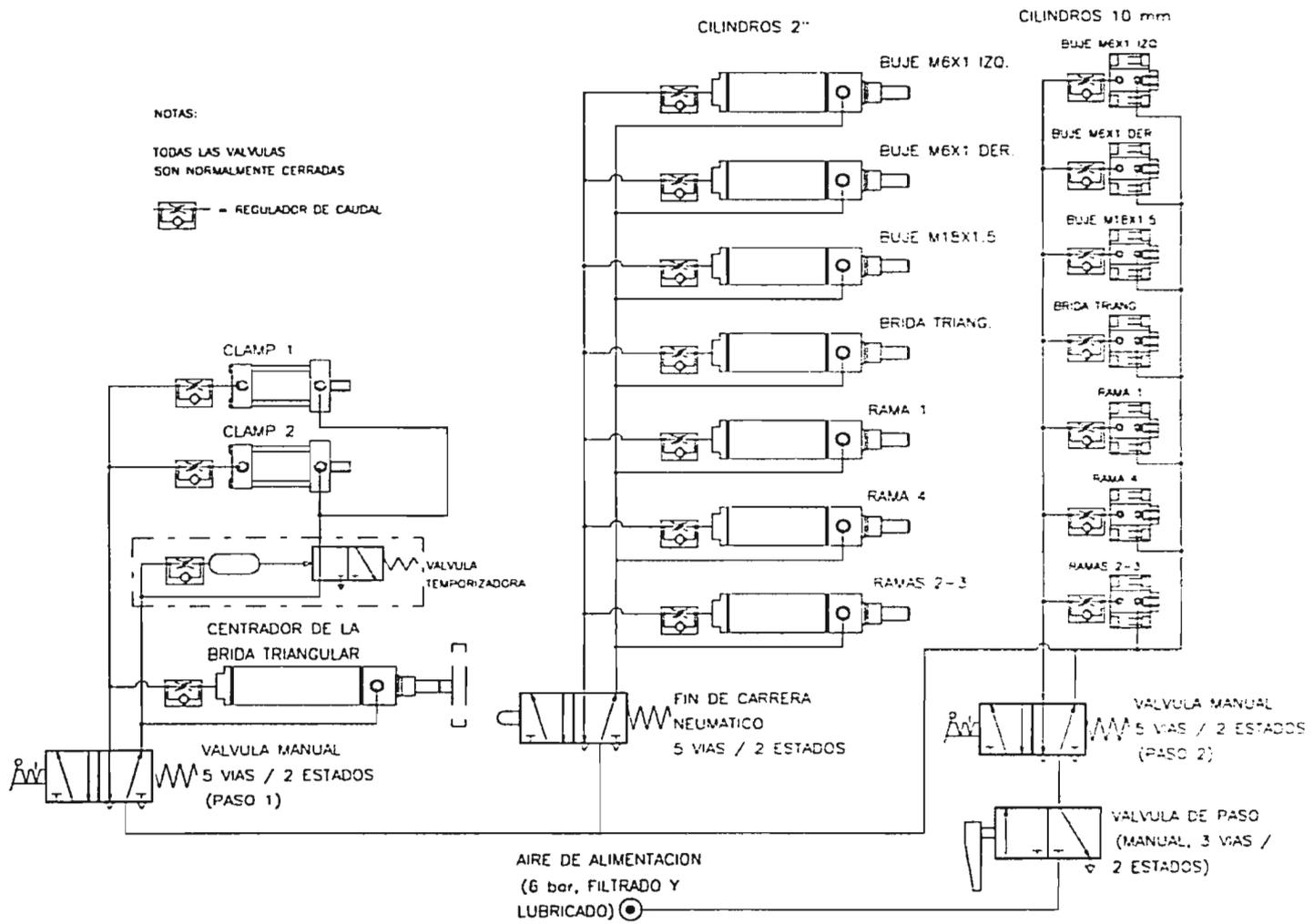
—En el caso de las válvulas de 2 vías, el concepto es claro: "cerrado" significa que la válvula no conduce aire a presión, mientras que "abierto" significa que sí conduce.

—En cambio, en las válvulas de 5 vías que estamos empleando para actuar los cilindros neumáticos, el concepto cambia un poco, ya que estas válvulas siempre conducen aire. Como estas válvulas tienen dos conductos de salida, su función es únicamente cambiar el conducto por el cual saldrá el aire a presión. Por eso, para el caso de las válvulas de 5 vías emplearemos la siguiente nomenclatura: "cerrado" significa aquella posición de la válvula para la cual el vástago del cilindro neumático se encuentra totalmente retraído; "abierto" significa la posición para la cual el vástago se encuentra extendido.

2. La primera etapa del circuito, mostrada en la figura 6.22.b, está formada por la alimentación de aire a presión. El circuito cuenta con una entrada de aire que se conectará a una unidad de filtración y lubricación de aire (no mostrada). A continuación viene una válvula de paso de 2 vías, que sólo permanecerá cerrada cuando el dispositivo no esté en uso. El aire pasa a continuación por la válvula "PASO 2", de 5 vías, cuya posición normal es "cerrada". A partir del punto "A" el aire se distribuye a los cilindros neumáticos del circuito. La razón por la que todo el aire tiene que pasar forzosamente por la válvula "PASO 2" la aclararemos en el nº 5.

3. La siguiente etapa del circuito está formada por los cilindros que actúan a los mecanismos de fijación, que son los dos clamps que sujetan la brida doble, y el centrador de la brida triangular, que genera el dato D. Para actuar estos cilindros, es necesario abrir manualmente la válvula "PASO 1" (figura 6.22.c), que transmite la presión proveniente del punto "A". El centrador de la brida triangular tiene una doble función: por una parte genera físicamente el dato "D" y, por otra, se encarga de actuar un fin de carrera neumático de 5 vías, que es una válvula diseñada para ser accionada mecánicamente. La función de esta válvula es enviar aire a presión, desde el punto "B", a los cilindros de 2" de carrera (mostrados en la figura 6.22.a), que son los encargados de accionar los pernos guía de los mecanismos de prueba. En cuanto a los clamps, es de notar la presencia de válvulas reguladoras de caudal que atenúan la presión del aire que abre el cilindro del clamp; con esto se evita que el clamp haga un impacto brusco sobre la brida doble, lo que podría contribuir a que el mismo clamp se deteriore con el uso.

Figura 6.22.a. Circuito neumático para actuar los mecanismos del dispositivo



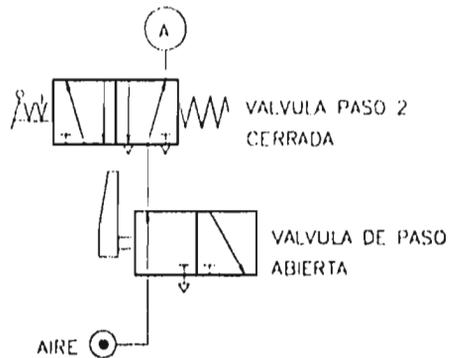


Figura 6.22.b. Primera etapa: alimentación de aire a presión

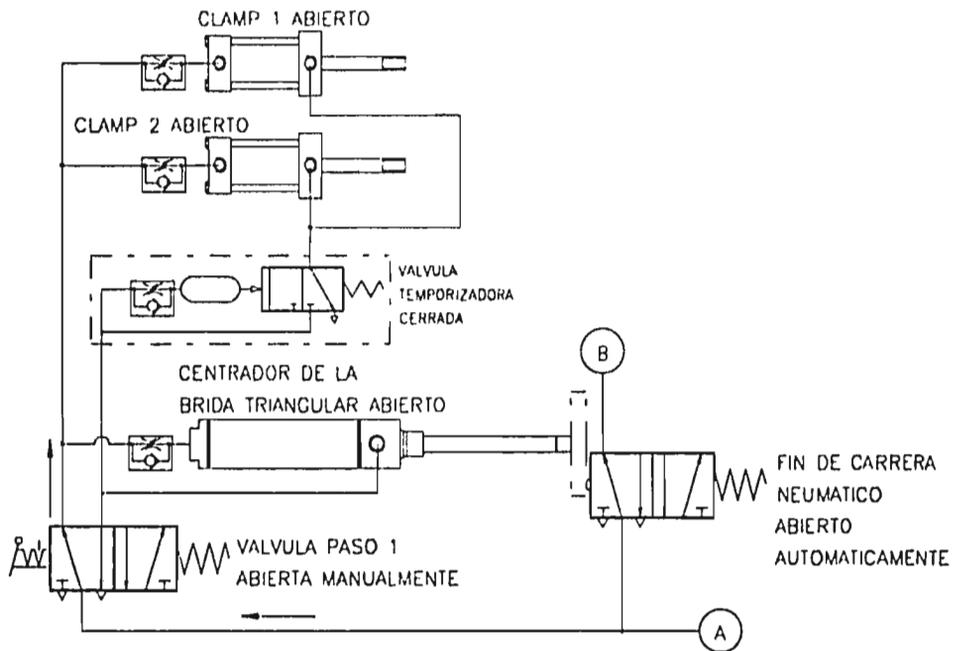


Figura 6.22.c. Segunda etapa: cilindros que actúan a los mecanismos de fijación

La figura 6.22.d (página siguiente) muestra la colocación física del fin de carrera neumático respecto del mecanismo centrador de la brida.

4. La figura 6.22.e muestra el accionamiento de los cilindros de 2" (tercera etapa), mediante el aire a presión proveniente del punto "B". En este momento, cada una de las puntas de prueba (o, en su caso, las placas de prueba), entra en contacto con la correspondiente característica del múltiple. Como puede verse, el aire que abre los cilindros de 2" también pasa por otros tantos reguladores de

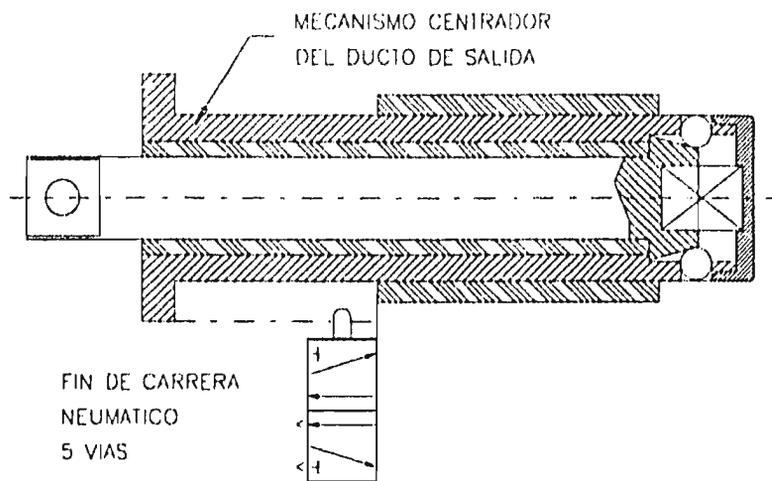


Figura 6.22.d. Colocación del fin de carrera neumático respecto del mecanismo centrador de la brida.

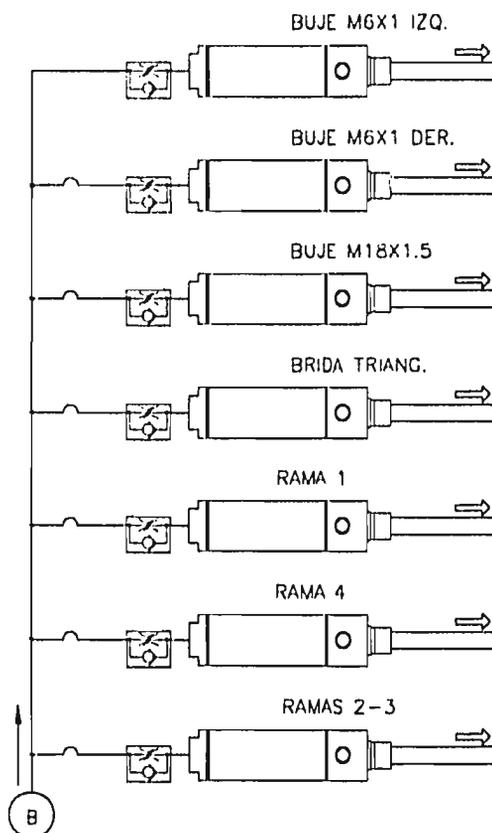


Figura 6.22.e. Tercera etapa: accionamiento de los cilindros de 2"

caudal, a fin de evitar que los cilindros produzcan impactos fuertes al llegar a su final de carrera.

5. Una vez que se han abierto los cilindros de 2", corresponde ahora accionar los cilindros de carrera 10 mm (cuarta etapa), que son los encargados de mover los pernos de prueba. Estos últimos son los pernos que abren las ventanas de los LEDs. Para conseguirlo, es necesario abrir manualmente la válvula "PASO2", con lo cual ésta envía aire a presión a los cilindros de 10 mm (figura 6.22.f).

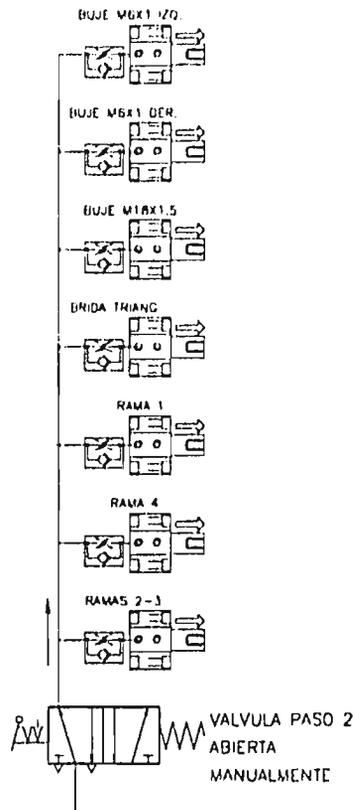


Figura 6.22.f. Cuarta etapa: accionamiento de los cilindros de 10 mm

En el n.2 se mencionó que todo el aire que se envía a los cilindros debe pasar por la válvula "PASO 2". Esto constituye una medida de seguridad que se puede entender examinando nuevamente la figura 6.22.a. En esa figura puede observarse que, para que la válvula "PASO 2" pueda enviar aire a los cilindros de 2", es necesario que ésta se encuentre en posición cerrada, que es la posición mostrada en esa figura. Cuando la válvula está en esta posición, los cilindros de 10 mm y sus pernos de prueba se encuentran totalmente retraídos y, por tanto,

los pernos guía, que son actuados por los cilindros de 2", pueden desplazarse libremente. Esta condición se muestra también en la figura 6.22.g.

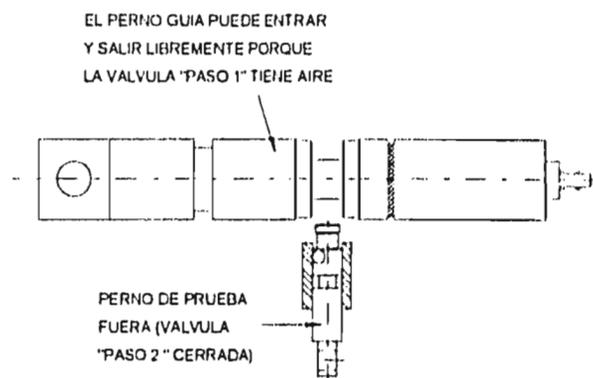


Figura 6.22.g. Acción del circuito neumático sobre los pernos: válvula "PASO 2" cerrada

En cambio, cuando la válvula "PASO 2" se abre, los pernos guía entran, pero a la vez se le corta el suministro de aire a los cilindros de 2" (figura 6.22.h). Con esto se evita el riesgo de que el operador intente sacar los pernos guía (mediante la válvula "PASO 1") cuando los pernos de prueba todavía se encuentran dentro de los pernos guía. De lo contrario, al intentar sacar el perno guía este se quedaría atorado por el perno de prueba, y se podría estropear el mecanismo¹.

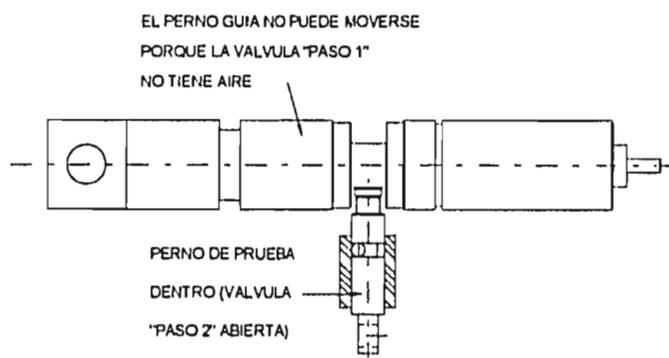


Figura 6.22.h. Acción del circuito neumático sobre los pernos: válvula "PASO 2" abierta

¹ De acuerdo con lo que se acaba de explicar, cuando los pernos de prueba están dentro, se corta el suministro de aire a los cilindros de 2". Se podría preguntar entonces si no hay riesgo de que los vástagos de los cilindros de 2" tiendan a "regresarse" por la acción de la gravedad, al no haber aire a presión. La respuesta es que no, porque las válvulas de 5 vías que hemos seleccionado son para operación en vacío. Esto significa que en el interior del cilindro existirá siempre un vacío que asegura que el émbolo no pueda regresarse por sí solo, aún quitando el aire a presión.

6. Ya se ha explicado que cuando los cilindros de 10 mm están abiertos (cfr. figura 6.22.f), entonces los pernos de prueba entran en los pernos guía. Es en este momento cuando el circuito eléctrico del dispositivo genera la señal de aceptación o rechazo del múltiple de escape. El funcionamiento del circuito eléctrico lo explicaremos en el siguiente apartado. Una vez que el operador ha visto esta señal, puede proceder a retirar el múltiple del dispositivo.

7. Para retirar el múltiple, el primer paso es accionar nuevamente la válvula "PASO 2" para cerrar los cilindros de 10 mm. A continuación se acciona la válvula "PASO 1" para cerrar el resto de los cilindros neumáticos.

La figura 6.22.i muestra la acción de cierre de la válvula "PASO 1". El cilindro del centrador de la brida triangular es el primero en cerrarse; al hacerlo, éste libera el fin de carrera neumático, con lo cual todos los cilindros de 2" se cierran automáticamente. En cuanto a los clamps, la figura mencionada muestra cómo la señal de cierre de éstos pasa primero por una válvula temporizadora de 2 vías. La función de esta válvula es retardar el cierre de los cilindros de los clamps, con el fin de dar un tiempo para que todas las puntas de prueba (y también el centrador de la brida) se separen del múltiple. De no existir este retardo, habría riesgo de que el múltiple se salga de posición antes de tiempo, lo que puede provocar el atoramiento de alguna de las puntas de prueba.

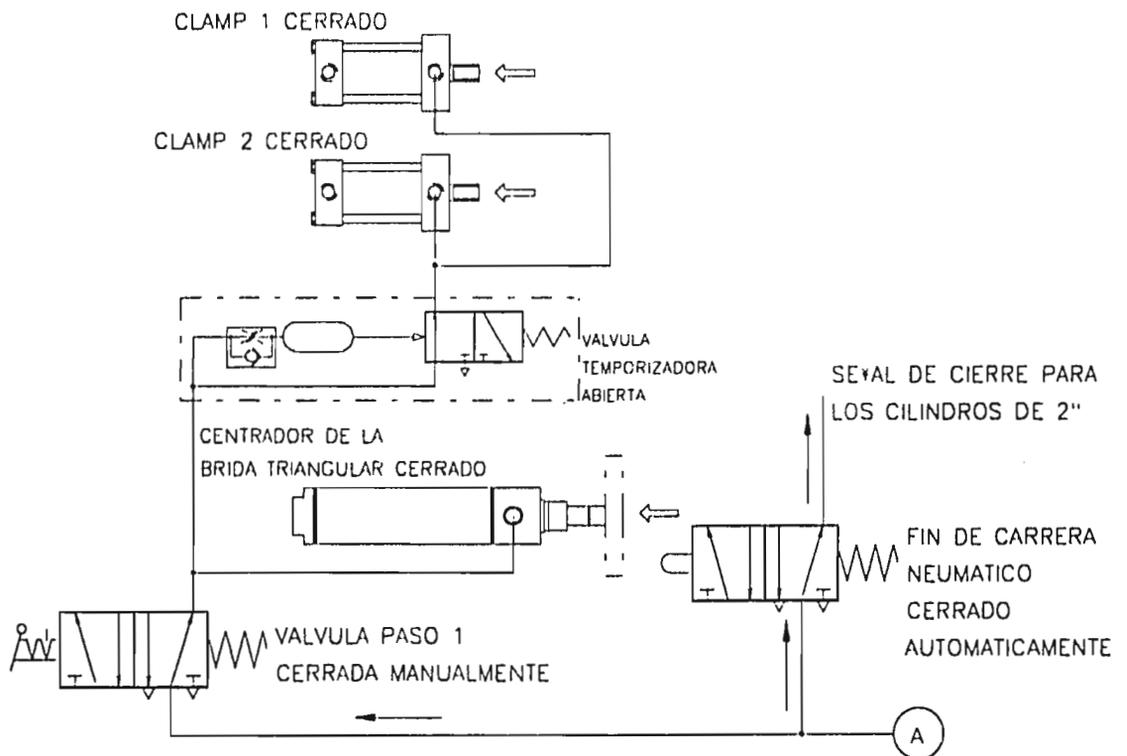


Figura 6.22.i. Acción de cierre de la válvula "PASO 1"

E. Circuito eléctrico para generar señal de aceptación o rechazo

En la figura 6.23 (página siguiente) se muestra el circuito que genera la señal "PASA" o "NO PASA" como resultado de la inspección. El caso 1 muestra la respuesta del circuito cuando el múltiple de escape se encuentra en condición "PASA". Como puede verse, el circuito consta principalmente de un arreglo de LEDS y otro arreglo de fotodiodos², ambos en serie. Los LEDS (de tipo infrarrojo) se hallan permanentemente encendidos. En el caso que estamos analizando, como todas las características del múltiple son correctas, todas las ventanas se abren al momento de efectuar la inspección, y por tanto, todos los fotodiodos se ponen en cortocircuito. De este modo, en la resistencia de 620Ω se genera un voltaje de $+7.1\text{ V}$ (considerando que cada fotodiodo tiene una caída de potencial de 0.7 V).

En la siguiente etapa del circuito tenemos un *op-amp* (amplificador operacional). En su entrada V^* existe el voltaje de $+7.1\text{ V}$, mientras que en la entrada V^- hay un voltaje de $+6\text{ V}$ suministrado por el divisor de voltaje, que tiene dos resistencias de $1\text{ k}\Omega$. El voltaje de salida del *op-amp* se genera de la siguiente forma:

$$V_1 = A (V^* - V^-) \quad (A = \text{factor de amplificación})$$

$$V^* = +7.1\text{ V}$$

$$V^- = +6\text{ V}$$

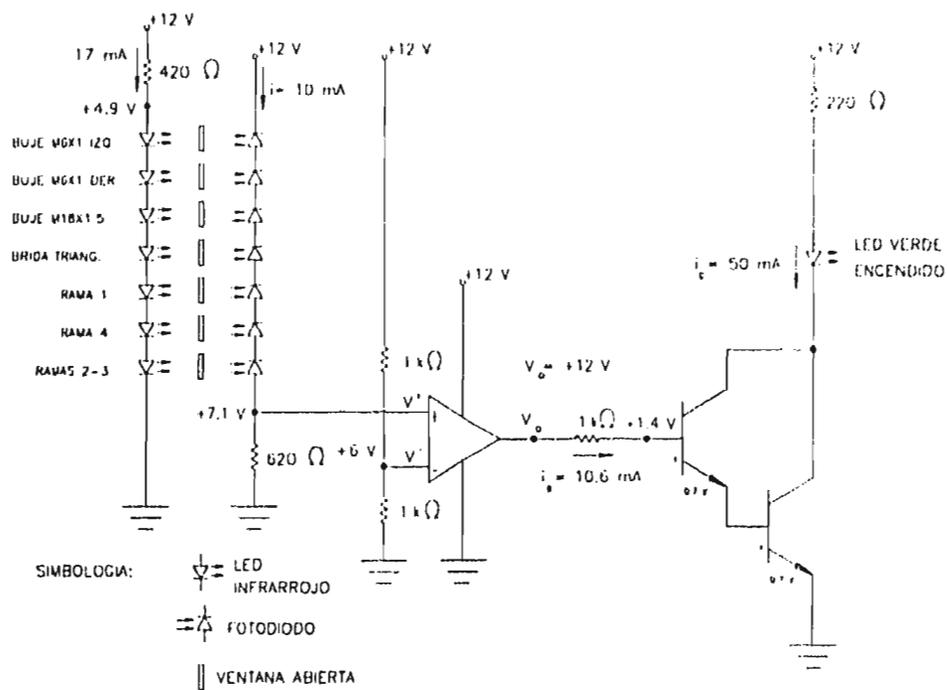
$$\therefore (V^* - V^-) > 0$$

Como el voltaje positivo máximo en el *op-amp* es $+12\text{ V}$, que es el voltaje de polarización, tenemos que $V_1 = +12\text{ V}$.

A la salida del *op-amp* tenemos una resistencia de $1\text{ k}\Omega$ seguida de un amplificador Darlington. Considerando la caída de potencial en esa resistencia, la corriente de base a la entrada del primer transistor es $i_B = 10.6\text{ mA}$. Seleccionamos nuestros transistores para una relación $i_C/i_B = 5$, de forma que la corriente de salida del amplificador será de 50 mA , suficiente para encender un LED verde (éste requiere una corriente mínima de 30 mA).

El LED verde encendido constituye nuestra señal "PASA", ya que éste sólo se puede encender cuando todos los fotodiodos conducen corriente.

² Como muestra el diagrama eléctrico, la polaridad de un fotodiodo es inversa a la de un diodo normal, es decir, la corriente en él fluye del cátodo al ánodo.



CASO 1: MULTIPLE DE ESCAPE EN CONDICION "PASA"

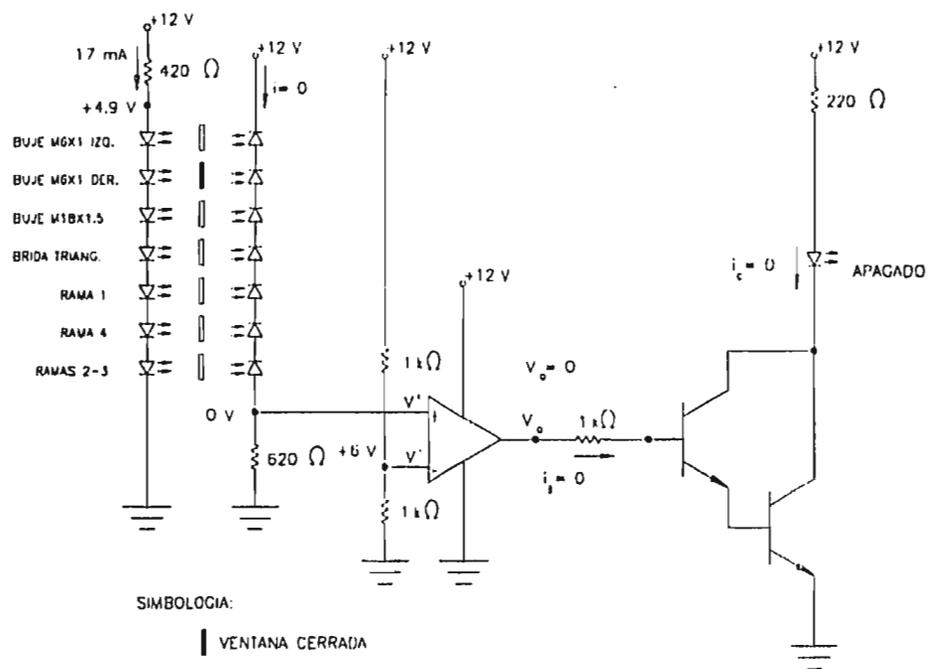


Figura 6.23. Circuito eléctrico para generar señal de aceptación o rechazo

El caso 2 de la figura 6.23 muestra lo que ocurre cuando el múltiple se encuentra en condición "NO PASA". Basta con que una de las ventanas quede cerrada (en este caso la que corresponde al buje M6x1 derecho) para que la serie de fotodiodos se quede en circuito abierto. Con esto el voltaje V^* cae a cero, y, por tanto, el voltaje a la salida del *op-amp*, V_o , es también igual a cero. Como resultado, las corrientes i_B e i_C serán iguales a cero, de forma que por el LED verde no circulará corriente y por tanto no encenderá.

El LED verde sin encender constituye la señal "NO PASA".

6.4. Diagrama del ensamble completo del dispositivo de inspección.

En la figura 6.24 (página siguiente) se muestra una vista superior esquemática del ensamble completo del dispositivo de inspección, en la cual va identificado cada uno de los módulos. Con esto queda terminada la exposición de nuestro diseño.

6.5 Instrucciones de operación del dispositivo de inspección.

Aunque el funcionamiento del dispositivo ha sido explicado con detalle en los apartados anteriores, es necesario proporcionar unas instrucciones claras e inequívocas a la persona que vaya a operar el dispositivo. La hoja de instrucciones para el operador (figura 6.25.a) deberá estar siempre a mano en el sitio donde se encuentre el dispositivo de inspección, junto con las calcomanías de PIEZA ACEPTADA (figura 6.25.b) y PIEZA RECHAZADA (figura 6.25.c), de las cuales se pegará una u otra en cada pieza inspeccionada. Sin embargo, es importante hacer notar que la existencia de esta hoja no excluye la necesidad de darle al operador la capacitación necesaria para operar el dispositivo, y de resolverle cualquier posible duda.

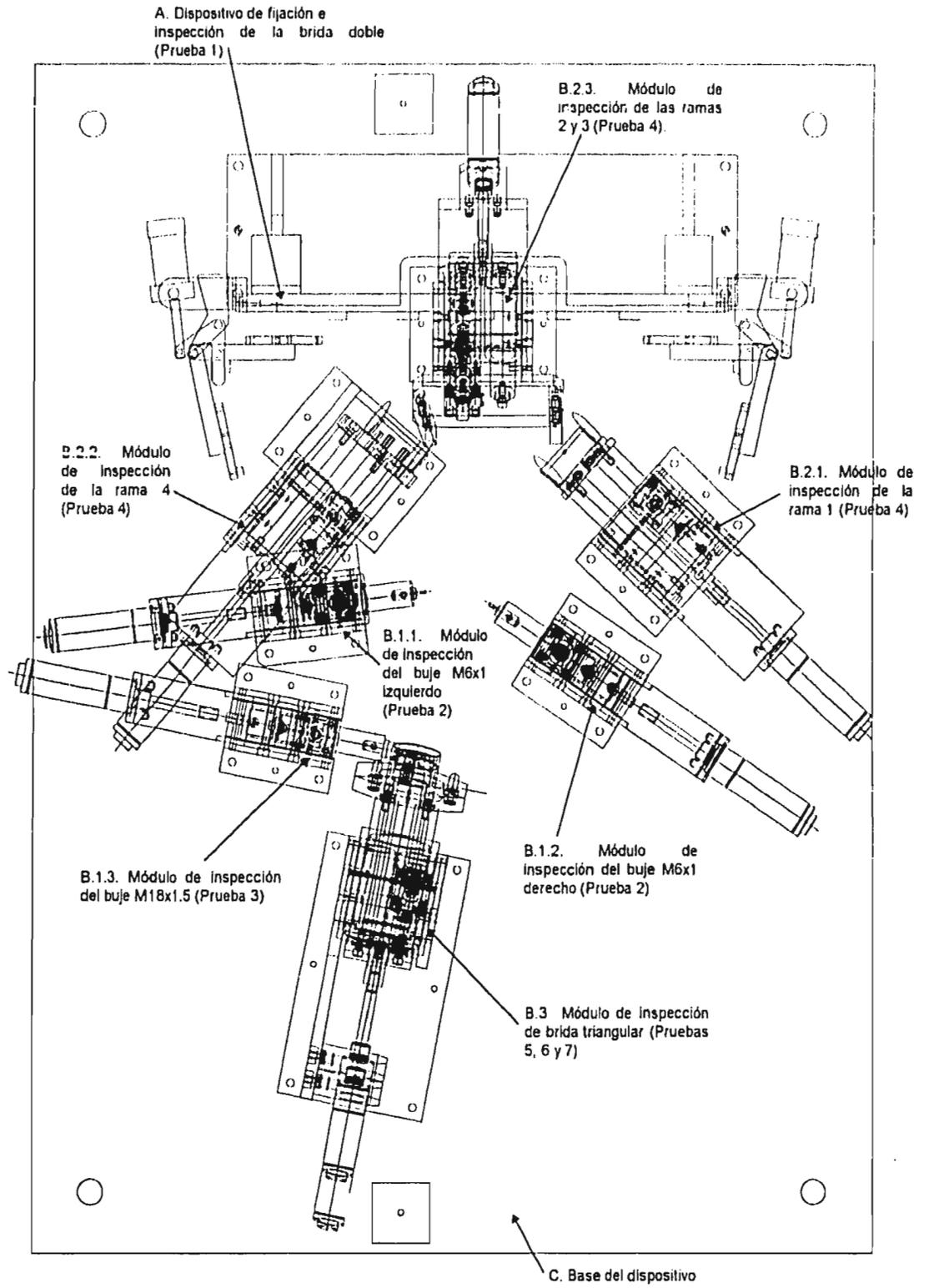


Figura 6.24. Diagrama del ensamble completo del dispositivo de inspección

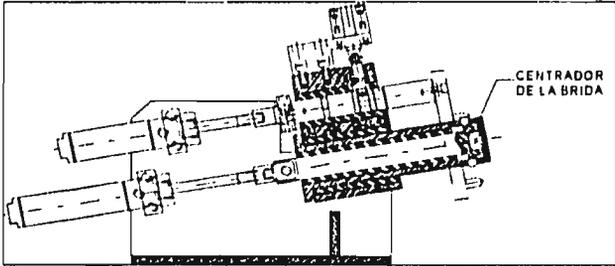
XXXX S.A. DE C.V.		HOJA DE OPERACION DE DISPOSITIVO DE INSPECCION	
DISPOSITIVO N°	XXX-XXXX-XXX	HOJA 1 DE 2	
PORTE N°:	XXX-XXXX	NIVEL DE CAMBIO:	B
NOMBRE DE LA PARTE: MULTIPLE DE ESCAPE TUBULAR			
USO: MOTOR 2 0L DOHC			
APLICA TAMBIEN A PARTES N°:	N/A	ULTIMA REVISION:	XX/XX/97
<p>1. Tomar una pieza del contenedor. Insertar la brida doble en los pernos de la placa vertical. Asegurarse de que la superficie asiente sobre los insertos planos (figura 1).</p>			
		Figura 1	
<p>2. Si la brida no entra en los pernos, o la superficie no logra asentar sobre los insertos planos, la pieza NO PASA, y se le deberá pegar calcomanía ROJA de RECHAZADO, tachando la CARACTERISTICA "1" como RECHAZADA.</p>			
<p>3. Si la pieza NO PASA colocarla en el contenedor de piezas RECHAZADAS, de lo contrario ir al siguiente paso.</p>			
<p>4. Mientras se sostiene la pieza con una mano, oprimir el botón "PASO 1" para accionar los clamps neumáticos y el centrador de la brida triangular.</p>			
<p>5. Si el centrador de la brida (figura 2) hace cualquier contacto con la brida, la pieza NO PASA, y se le deberá pegar calcomanía ROJA de RECHAZADO, tachando la CARACTERISTICA "2" como RECHAZADA (solamente los balines del centrador pueden hacer contacto con la pieza)</p>			
		Figura 2	
<p>6. Si la pieza NO PASA, oprimir nuevamente el botón "PASO 1" para liberar los clamps, asegurándose de no dejar caer la pieza, y colocarla en el contenedor de piezas RECHAZADAS. De lo contrario ir al siguiente paso.</p>			
<p>7. Oprimir el botón "PASO 2" para accionar los pernos de prueba.</p>			
<p>8. Si el LED VERDE ENCIENDE, la pieza PASA y se le deberá pegar la calcomanía VERDE de ACEPTADO.</p>			
<p>9. Si el LED VERDE NO ENCIENDE, la pieza NO PASA y se le deberá pegar la calcomanía ROJA de RECHAZADO. Ver en el dispositivo la posición de las marcas de color de los pernos guía. En la calcomanía ROJA se deberán tachar aquellas características cuya marca de color esté en posición INCORRECTA.</p>			
<p>10. Oprimir el botón "PASO 2" para retirar los pernos de prueba.</p>			
<p>11. Si la pieza PASA colocarla en el contenedor de piezas ACEPTADAS, de lo contrario colocarla en el contenedor de piezas RECHAZADAS.</p>			

Figura 6.25.a. Hoja de operación del dispositivo de inspección

XXXX S.A. DE C.V.	
PIEZA	
ACEPTADA	
PARTE N°: XXX-XXXX	NIVEL DE CAMBIO: B

Figura 6.25.b. Calcomanía de PIEZA ACEPTADA

XXXX S.A. DE C.V.		
PIEZA		
RECHAZADA		
PARTE N°: XXX-XXXX	NIVEL DE CAMBIO: B	
CARACTERISTICAS		
N°	DESCRIPCION	RECHAZADAS
1	Posición Barrenos brida doble	
2	Centro de la brida triangular	
3	Posición Buje M6x1 izquierdo	
4	Posición Buje M6x1 derecho	
5	Posición Buje M18x1.5	
6	Posición Rama 1	
7	Posición Ramas 2-3	
8	Posición Rama 4	
9	Posición Barrenos brida triangular	
10	Longitud total del múltiple	

Figura 6.25.c. Calcomanía de PIEZA RECHAZADA

7. CONCLUSIONES.

1. Desde el punto de vista del producto, la revisión de los dibujos de fabricación del múltiple de escape nos ha llevado a introducir algunas correcciones a éstos que, de haber sido propuestas en el proyecto original, habrían eliminado en gran parte las controversias que surgieron entre cliente y proveedor sobre la interpretación de los dibujos y la intención del diseño. El punto central de estas discusiones fueron las tolerancias especificadas para la brida triangular del múltiple, y el modo en que debían inspeccionarse. La solución que hemos propuesto ha sido la introducción de un cuarto dato, al que llamamos "D", que permite eliminar el movimiento de la brida debido a la cabeza flexible y que, sin embargo, no provoca localización redundante (cfr. apartado 3.2.6, p. 51 ss.). El problema de localizar piezas flexibles para su inspección ha sido abordado por Liggett¹, quien, en efecto, propone emplear más de tres superficies dato para fijar piezas de este tipo. La propuesta de Liggett, sin embargo, se centra en piezas plásticas de superficie grande, como son las cubiertas interiores de las puertas de automóvil y, en la forma que él la plantea, no resulta directamente aplicable a tuberías de escape dotadas de elementos flexibles. No obstante, la idea central, que es la posibilidad de emplear datos múltiples, nos hace pensar que nuestra propuesta estuvo bien encaminada.

2. En cuanto al proceso de diseño, la principal innovación consistió, desde luego, en haber desarrollado un método completo y documentado, que nos diera la seguridad de que llegaríamos a un resultado satisfactorio. Está claro que en este diseño hubo varias etapas que no se dieron en condiciones reales de trabajo, pero al menos hemos tenido la posibilidad de comparar el modo en que se llevó a cabo el presente proyecto, contra el desarrollo que tuvo el proyecto original. Una vez hecha esta comparación, hemos concluido que los siguientes fueron los aspectos más valiosos del método de diseño que se empleó en el proyecto actual (cfr. figura 4.2, p. 70):

a) Identificar a todos los clientes (directos o indirectos) del proyecto a fin de establecer todas las necesidades que se buscaba satisfacer con el dispositivo. Para este segundo proyecto fue especialmente importante haber establecido, desde el principio, dos clientes que no tuvieron suficiente consideración en el proyecto original:

— El Metrólogo que se encargaría de inspeccionar el dispositivo, ya que la inspección en la máquina CMM es crucial para la aprobación del dispositivo, y el diseño original no dio verdaderas facilidades para realizar esta tarea.

— El operador del dispositivo. La principal limitación del dispositivo original fue que había sido diseñado con características propias de un dispositivo de laboratorio, pero que no lo hacían del todo adecuado para un trabajo pesado

¹ Cfr. Liggett, John V. "Dimensional Variation Management Handbook". Prentice-Hall, Inc. 1993

(como es la inspección de producto terminado en planta). En especial, resultaba fatigoso operar el dispositivo al ritmo de producción normal.

b) Puesto que el diseño es (o debería ser) una actividad creativa, a veces se tiende a buscar eliminar toda restricción a la generación de ideas, a fin de que no existan límites a la creatividad del diseñador. Pero es difícil llegar a una solución de diseño en un tiempo razonable cuando no se ha establecido al menos un campo general dentro del cual debe quedar la propuesta de diseño. Cuando no está definida la frontera del sistema, conforme a lo que explicamos en el apartado 5.3, el diseñador puede caer fácilmente en el juego (muchas veces atractivo pero con frecuencia ineficaz) de "abrir el horizonte" y proponer soluciones altamente radicales². Para definir la frontera del sistema, el método más simple y efectivo es establecer las funciones del diseño, esto es, decir exactamente qué acciones debe realizar.

c) Conforme a lo dicho en el nº 2, el objetivo principal de diseñar con base en un método, es que el diseñador, y las demás personas involucradas en proyecto, tengan la seguridad de que, al final del proceso, se habrá llegado a una solución satisfactoria (aunque no siempre sea la óptima) dentro de los límites de costo y tiempo. Pero no hay manera de decir que una solución es realmente satisfactoria si no es posible compararla con otras posibles soluciones. Por tanto, un diseño no se debería aceptar mientras no se conozcan alternativas a lo que se ha propuesto. Podemos considerar que el otro aspecto importante del método de diseño propuesto es el requisito de generar alternativas, puesto como un requisito del trabajo de diseño, y no como una mera posibilidad que dependa del grado de inspiración del diseñador.

Este también es el aspecto que requiere más disciplina por parte del diseñador, pues cuando existe la presión de los plazos (cosa que ocurre siempre), resulta difícil trabajar con seriedad varias alternativas de las cuales solamente una se conservará, mientras que el resto del trabajo quedará descartado.

Un tema que deliberadamente no se abordó en este trabajo, porque nos habría sacado del tema central, fue el de proponer un método para generar alternativas, porque se trata del aspecto más discutible de cualquier método de diseño que se proponga. La razón es que la creatividad es una cualidad en la que pesa mucho la personalidad del diseñador, y nunca es fácil ayudar a otra persona a desarrollarla. Los métodos para estimular la creatividad por lo general logran ayudar sólo a algunos, de manera que ningún autor se atrevería a proponer el suyo como un método de valor universal.

3. Procederemos ahora a analizar el resultado final de nuestro trabajo, que es el dispositivo diseñado. Comenzaremos por resumir la tesis central de este trabajo:

² Por ejemplo, en el caso de nuestro proyecto hubo quien, con toda seriedad, propuso adquirir el *monoblock* del motor y parte del chasis del coche, a fin de probar los múltiples *en su lugar de instalación*.

Los fabricantes de sistemas de escape automotrices frecuentemente se encuentran con el siguiente problema cuando desarrollan el proceso de fabricación de un nuevo producto: en la industria de sistemas de escape es norma el contar con un dispositivo para auditar el producto terminado, lo cual consiste en verificar rápidamente que todas las dimensiones y/o características geométricas importantes estén dentro de tolerancia. Los dispositivos que normalmente se emplean para hacer estas pruebas son dispositivos operados manualmente, en los que la condición de aceptación o rechazo de cada característica se lee mediante marcas visibles o, en algunos casos, en instrumentos de carátula. Estos dispositivos normalmente están bajo la custodia de los laboratorios de metrología, para ser usados durante revisiones periódicas al proceso.

De lo anterior se puede deducir que estos dispositivos no están pensados para usarse constantemente. El problema surge cuando el producto está aún en sus primeras semanas de producción. Como es en ese primer periodo cuando existe mayor riesgo de que salgan piezas defectuosas, el cliente, como medida de seguridad, suele exigir que hasta nueva indicación, la producción que se le entregue sea inspeccionada al 100% en el dispositivo de inspección final. Por lo tanto, se exige que a un dispositivo diseñado para uso periódico se le dé, al menos durante una temporada, un uso continuo, a un ritmo igual a la capacidad de producción de la línea. Este uso continuo trae consigo la exigencia de que el dispositivo tenga la rapidez de prueba y facilidad de lectura que permitan efectivamente operarlo al ritmo de la producción, además de que debe tener una resistencia al desgaste y al desajuste superior a la de un dispositivo de laboratorio. Desafortunadamente, las normas sobre este tipo de dispositivos no contiene propuestas de diseño que permitan cumplir con esos requisitos, ya que están orientadas a dispositivos que normalmente operarán en condiciones de laboratorio³.

El objeto de esta tesis, por tanto, ha sido diseñar un dispositivo con capacidad para realizar inspección del producto terminado al 100%, en la misma línea de producción, y por tiempo indefinido⁴. Las características que permiten ese uso continuo son fundamentalmente los actuadores neumáticos y el circuito eléctrico. Hemos procurado diseñarlos en forma tal, que siga resultando práctico utilizarlos aún cuando el uso del dispositivo se reduzca a las auditorías periódicas⁵.

³ Que es como a la larga deberá operar el dispositivo, una vez que el cliente esté satisfecho con la capacidad del proceso para generar piezas buenas.

⁴ Pues el cliente no establece ninguna fecha de compromiso para suspender el requisito de producción al 100%.

⁵ Puesto que las máquinas CMM necesitan forzosamente una instalación de aire a presión, el laboratorio de Metrología siempre tendrá una instalación de aire a donde conectar el dispositivo de Inspección.

4. En lo que se refiere a los requisitos de durabilidad y rigidez del dispositivo, en el presente trabajo hemos hecho una selección más estudiada de los materiales, por ejemplo los aceros grafiticos y bronce en las piezas de fricción. En cuanto a los soportes de los mecanismos, les hemos dado una mayor área de base, y hemos optado por espesores de placa mayores en algunas construcciones soldadas⁶.

5. La principal innovación de este dispositivo probablemente se encuentre en el sistema que se diseñó para cumplir con el requisito de facilidad de lectura. La condición de aceptación o rechazo de la pieza puede leerse ahora mediante una señal luminosa, que es generada por un sistema que combina elementos mecánicos (la combinación de los pernos guía y de prueba, que forman un mecanismo a manera de cerrojo) y eléctricos (el circuito de señal). Las marcas de color siguen estando presentes, pero únicamente para localizar el defecto preciso en las piezas que resulten rechazadas.

6. Se procuró facilitar al máximo la inspección del dispositivo en la máquina CMM, y se buscó que las características dato tuvieran la mayor repetibilidad y reproducibilidad posibles, puesto que, en condiciones reales, la continuación del proyecto depende de que el dispositivo apruebe dicha inspección.

7. En este nuevo diseño, los pernos guía se desplazan una distancia mayor al momento de separarse de la pieza inspeccionada. Esto tiene por objeto que, al momento de sacar la pieza, las puntas de inspección queden lo bastante alejadas para que no estorben al momento de sacar la pieza. De esta manera se contribuye a reducir el tiempo de colocación y retiro de las piezas.

8. La inspección de las ramas del múltiple se mejoró notablemente. El modelado tridimensional permitió resolver mejor el difícil problema de situar los mecanismos de prueba de las ramas. Esta dificultad se puede comprender viendo la figura 6.24; el principal problema lo constituía la posible interferencia entre los módulos B.1.1 y B.2.2, pero fue resuelto dándole una forma adecuada a la base del módulo B.2.2 (cfr. figura 6.17.b).

9. En cuando al tiempo de diseño, el modelado del dispositivo duró del 1 al 24 de mayo de este año, con una carga de trabajo similar a la del proyecto original, con lo cual solamente rebasamos por tres días el plazo fijado de tres semanas. Por otra parte, el hecho de que éste haya sido un diseño mucho más completo que el original, sugiere que el empleo del modelado tridimensional

⁶ Otra experiencia sacada del dispositivo original fue la de aprender a desechar objetivos de poco valor. Por alguna razón, cuando se diseñó el dispositivo original muchos insistieron en mantener el peso del dispositivo lo más bajo posible (cuando el único modo sensato de transportar estos dispositivos es mediante un polipasto). Esto llevó a algunas decisiones poco afortunadas, como diseñar bases demasiado esbeltas y, sobre todo, emplear aluminio en la placa base, cuyas propiedades plásticas lo hacen bastante inadecuado para barrenar y machuelar, además de que es un material con baja dureza superficial.

efectivamente hizo más ágil el proceso de diseño, además de que permitió eliminar los errores de geometría que se pueden dar al trabajar únicamente en dos dimensiones.

10. Como comentario final, en nuestro método de diseño hemos propuesto, como última etapa, la comunicación del diseño, que es cuando el diseño propuesto comienza a tener valor para la empresa. En un proyecto de esta naturaleza, la etapa de comunicación habría consistido en elaborar los dibujos de detalle de fabricación (despieces), y los dibujos del dispositivo ensamblado. En este trabajo hemos omitido los dibujos de fabricación de cada pieza, porque habrían sido una carga de trabajo bastante grande, y que habría añadido poco valor a este trabajo. Por otra parte, vale la pena comentar que, en la época actual, los fabricantes de herramientas están buscando nuevas formas de comunicar los diseños al personal de los talleres de maquinado, pues la urgencia con que se desarrollan los proyectos de herramientación⁷ hoy en día, hace cada vez más difícil reservar tiempo al laborioso proceso de dibujar despieces. Las nuevas prácticas de dibujo de herramientas parecen ir por dos líneas generales, que son la de acotar lo más posible sobre los mismos dibujos de ensamble y, a la vez, emplear donde sea posible elementos estandarizados, que pueden ser partes sujetas a normas internacionales, piezas de catálogo, o diseños de uso común del mismo fabricante.

A la vez, el desarrollo de los sistemas CAD/CAM⁸ permite alimentar directamente los modelos tridimensionales de piezas cada vez más complejas a los centros de maquinado, lo que en muchos casos elimina la necesidad de realizar el paso intermedio de dibujar la pieza.

Es de esperarse que en los próximos años vayan surgiendo normas que regulen estos nuevos métodos de comunicación de los diseños.

⁷ Si olvidar las modificaciones a herramientas durante el ciclo de producción.

⁸ CAD/CAM son las siglas de *Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*: Diseño Asistido por Computadora / Manufactura Asistida por Computadora.

APENDICE A

Algunos conceptos sobre tolerancias geométricas

1. Dimensionamiento y tolerado geométrico (GDT).

Es un sistema creado la comunicación precisa de especificaciones de diseño, que permite controlar las características geométricas de una parte, tales como forma, perfil, orientación, cabeceo y localización. La norma sobre GDT vigente en los Estados Unidos es la ANSI Y14.5M-1982, "Dimensionamiento y Tolerancias", y abarca lo relacionado con prácticas de dimensionado y aplicación de tolerancias en dibujos de ingeniería y documentos similares.

Todos los dibujos elaborados en esta tesis se basan en ANSI Y14.5M-1982.

2. Tolerancia geométrica.

Término general aplicado a la categoría de tolerancias que se usan para controlar forma, perfil, orientación, cabeceo (de piezas giratorias) y localización. Esta categoría se contrapone a la de tolerancias lineales, que son las tradicionalmente usadas para controlar dimensiones de tamaño, y que se expresan con límites "más / menos", por ejemplo 78 ± 0.5 .

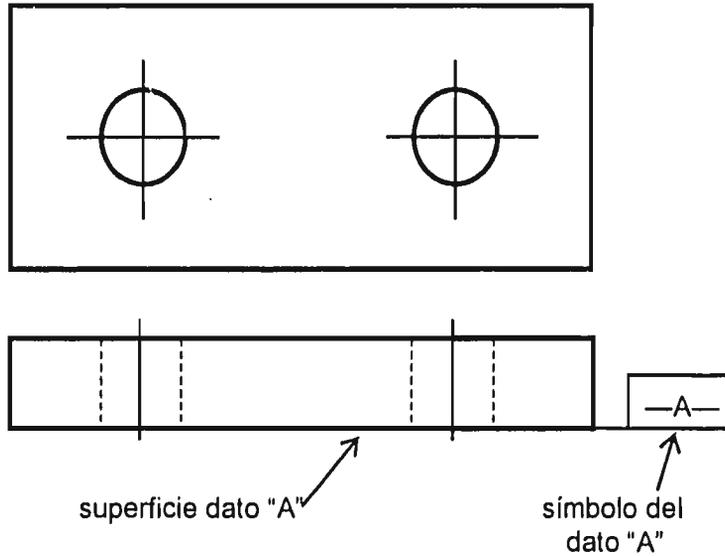
3. Dato.

Es una línea, superficie o punto teóricamente exacto que se usa como origen de dimensiones de una pieza. Los datos se consideran perfectos para efectos de fijación y orientación de una pieza. De este modo, en un proceso de maquinado, las superficies sobre las que se asienta la pieza se suponen perfectas. El dato no se usa, en cambio, para mediciones físicas. Las mediciones se hacen a partir de las llamadas características dato de la pieza.

4. Característica dato.

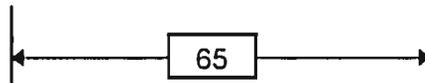
Es aquella característica física de la pieza, sea una superficie (plana o cilíndrica), una línea o un punto, que se asienta sobre el dato teóricamente exacto. La característica dato, al ser real, puede poseer cierto grado de irregularidades o defectos, pero es a partir de ella de donde se toman las mediciones de la pieza. En los dibujos, las características dato se identifican mediante el símbolo de característica dato aprobado por la norma en uso.

Ejemplo: identificar la superficie dato "A" en una placa rectangular conforme a ANSI Y14.5M-1982.



5. Dimensión básica.

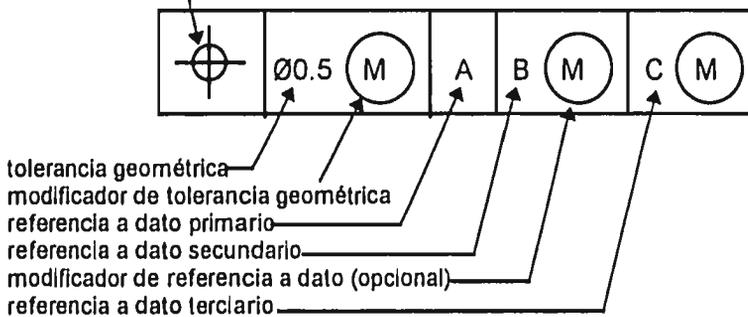
Es la dimensión teóricamente exacta de alguna característica de una pieza. Las dimensiones básicas no van acompañadas de tolerancia en las cotas del dibujo, y se representan con el valor de la dimensión encerrado en un rectángulo. Las tolerancias para las dimensiones básicas se especifican en los cuadros de control de característica (cfr. nº 6). Ejemplo de cómo representar una dimensión básica:



6. Cuadro de control de característica.

Símbolo por medio del cual se especifica la tolerancia de una determinada característica geométrica en la pieza. Los elementos que componen un cuadro de control de característica se muestran en el siguiente ejemplo:

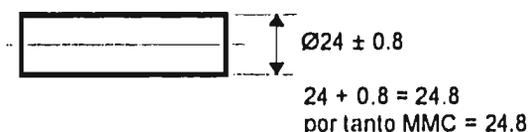
símbolo de característica geométrica (posición, en este caso)



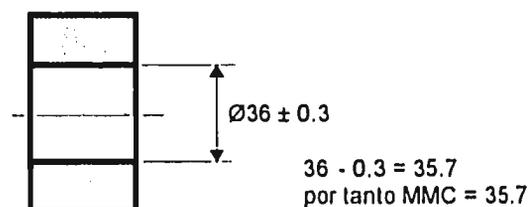
7. Condición de material máximo (MMC).

Es una modificación a la tolerancia de una característica de tamaño. Expresa la condición bajo la cual esa característica poseerá la máxima cantidad de material permitida por la tolerancia. Se usa principalmente en características con diámetro, como partes cilíndricas y agujeros circulares. MMC se especifica en los dibujos mediante el símbolo (M).

En el caso de una pieza cilíndrica, MMC corresponde al diámetro máximo permitido por la tolerancia:



En el caso de un agujero circular, MMC corresponde al diámetro mínimo permitido por la tolerancia (hay que considerar que, cuanto más pequeño sea un agujero, más material poseerá la pieza):



8. Condición de material mínimo (LMC).

Es una modificación a la tolerancia de una característica de tamaño, que expresa la condición bajo la cual esa característica poseerá la mínima cantidad de material permitida por la tolerancia. En el caso de características con diámetro, LMC corresponde al diámetro mínimo de una pieza cilíndrica, o bien al diámetro máximo de un agujero circular. LMC se especifica mediante el símbolo (L).

9. Condición independiente del tamaño de característica (RFS).

Se emplea para indicar que alguna especificación permanecerá siempre igual, independientemente del tamaño de la característica. Esta condición se representa con el símbolo (S).

10. Tolerancia de posición.

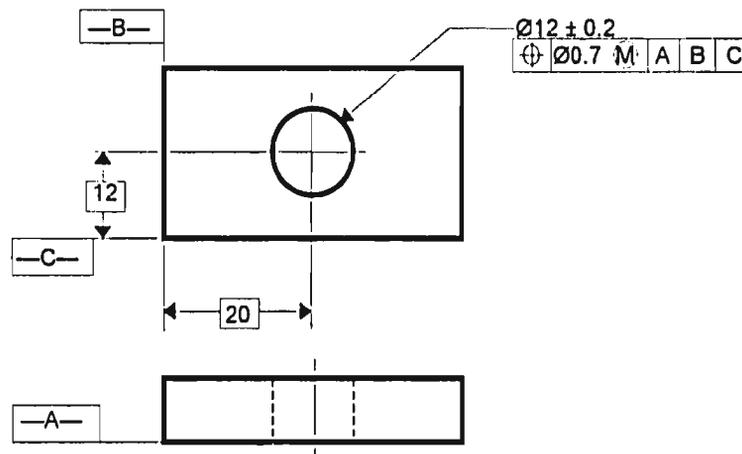
Es aquella que se emplea para definir una zona dentro de la cual el centro de una característica de tamaño se puede desviar de su posición verdadera. Por centro entendemos en este caso un punto, un eje, o un plano de simetría. Posición verdadera es la localización teóricamente exacta del centro de una característica. La posición verdadera se establece mediante dimensiones básicas tomadas a partir de características dato.

La tolerancia de posición se especifica mediante un cuadro de control de característica, que contiene el símbolo de característica "posición" (o, en algunos casos, característica "concentricidad"), la tolerancia, y las referencias de dato pertinentes. A la tolerancia especificada se le debe aplicar siempre alguna de las condiciones de tamaño de característica: MMC, LMC o RFS.

11. Pasos para especificar una tolerancia de posición.

Consideremos la especificación de posición de un agujero circular (v.figura abajo).

a) Añadir los datos adecuados. Cuando se especifica la posición de una característica dentro de una pieza, lo que se está haciendo es situarla en un espacio de tres dimensiones. Por tanto, hacen falta tres datos de referencia para establecer la posición. En el ejemplo que se muestra, hemos identificado tres datos A, B, C, que están formados por tres planos perpendiculares entre sí. Físicamente, estos datos corresponderían a otras tantas superficies de apoyo contra las que debemos fijar la pieza, antes de barrenar el agujero.



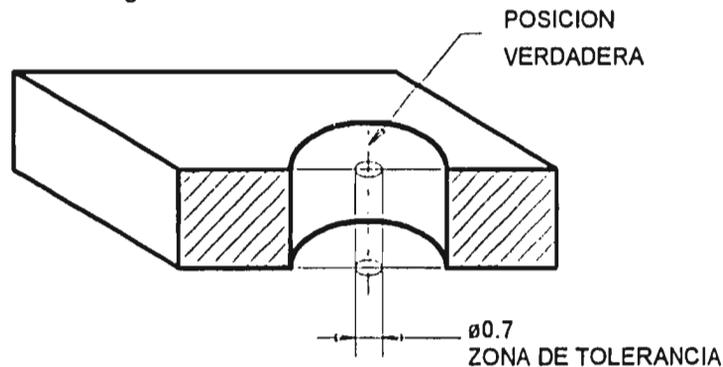
b) Localizar la característica, en este caso el barreno, mediante dimensiones básicas, que tengan como referencia directa o indirecta los datos establecidos. Vemos cómo las dimensiones de 20 y 12 están tomadas a partir de los planos dato B y C respectivamente.

c) Colocar el cuadro de control de posición debajo de la especificación de tamaño de la característica. El tamaño en este caso es $\varnothing 12 \pm 0.2$. La tolerancia de posición es, para este ejemplo, una zona de diámetro 0.7 en MMC. Es importante notar que el agujero tiene especificados dos tipos de tolerancia diferentes: una tolerancia de tamaño (± 0.2), que controla el diámetro, y una tolerancia de posición ($\varnothing 0.7$), que controla la localización del agujero.

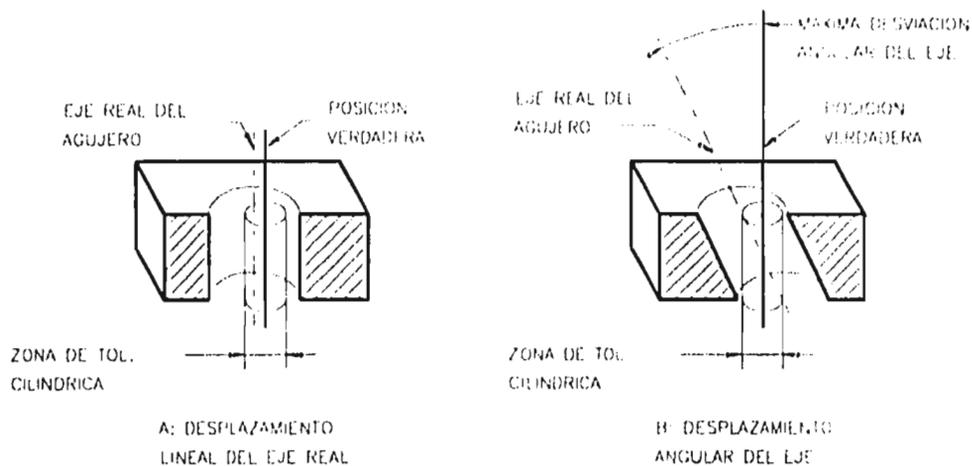
Los valores de las tolerancias de posición y de tamaño son independientes entre sí. Se calculan con base en la intención del diseño.

12. Significado de la tolerancia de posición en características cilíndricas.

Una tolerancia de posición para una característica cilíndrica, por ejemplo un agujero, significa que existe una zona cilíndrica de tolerancia, dentro de la cual se debe ubicar la línea de centro de la característica. En el cuadro de control de característica, el diámetro de la tolerancia significa el diámetro de la zona cilíndrica de tolerancia. Tomando el ejemplo anterior, la tolerancia de posición se interpreta como sigue:



La línea de centro de la posición verdadera es perpendicular al dato A. La línea de centro del agujero se puede localizar en cualquier lugar dentro de la zona de tolerancia cilíndrica. La siguiente figura muestra que la zona de tolerancia cilíndrica permite tanto el desplazamiento del eje del agujero real respecto de la posición verdadera (caso "A"), como la inclinación de dicho eje (caso "B"). También es permisible una combinación de los dos efectos siempre y cuando el eje del agujero nunca salga de la zona de tolerancia.



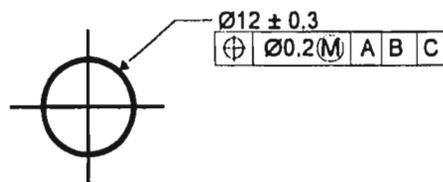
13. Tolerancia de posición en MMC.

Quando una tolerancia de posición se aplica en MMC, significa que la tolerancia especificada se aplica sólo cuando la característica es producida en MMC. Supongamos, como ejemplo, que el eje de un agujero tiene que quedar dentro de una zona de tolerancia (v. figura anterior). El diámetro de la zona de tolerancia cilíndrica será igual a la tolerancia especificada solamente cuando el agujero sea fabricado en MMC, es decir, cuando sea fabricado al diámetro mínimo permitido. Si el diámetro del agujero se aleja de MMC en una determinada cantidad (esto es, si el diámetro del agujero se incrementa en cierta cantidad), la tolerancia de posición podrá aumentar en esa misma cantidad. La máxima tolerancia de posición se da cuando el agujero es producido en LMC, o sea, a diámetro máximo.

Quando en un dibujo se especifica una característica con tolerancia de posición en MMC, se puede aplicar la siguiente fórmula para calcular la tolerancia de posición correspondiente a un determinado tamaño de la característica:

$$\text{Tamaño real} - \text{MMC} + \text{Tolerancia posicional especificada} = \text{Tolerancia de posición real}$$

Supongamos que en un dibujo existe un barreno con la siguiente especificación:

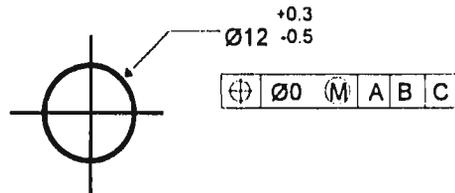


Empleando la fórmula podemos elaborar una tabla de tolerancias posibles para distintos diámetros producidos:

Diámetro producido	Tolerancia posicional
11.7 (MMC)	0.2 (tolerancia en MMC)
11.8	0.3
11.9	0.4
12	0.5
12.1	0.6
12.2	0.7
12.3 (LMC)	0.8

14. Tolerancia de posición cero en MMC

Es posible especificar una característica con tolerancia de posición cero en MMC. Cuando se hace esto, si la característica es producida en MMC, entonces deberá localizarse en la posición verdadera. Cuando el tamaño de la característica se aleja de MMC, la tolerancia de posición tendrá un valor igual a ese alejamiento. La máxima tolerancia de posición se da, nuevamente, en LMC. En algunos casos, una tolerancia de posición en MMC se puede convertir a una tolerancia de posición cero en MMC. Tomando como caso el ejemplo anterior (cfr. nº 13), la conversión queda como sigue:



La tabla de tolerancias posibles para distintos diámetros producidos queda como sigue:

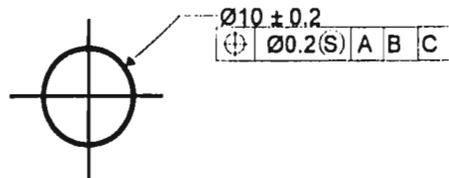
Diámetro producido	Tolerancia posicional
11.5 (MMC)	0
11.6	0.1
11.7	0.2
11.8	0.3
11.9	0.4
12	0.5
12.1	0.6
12.2	0.7
12.3 (LMC)	0.8

En la tabla podemos observar que los valores en negritas son los mismos de la otra tabla. El cambio que hemos introducido es que la tolerancia de tamaño se ha ampliado, ya que el diámetro mínimo permisible es ahora de 11.5 en vez de 11.7

mm. Con este ejemplo hemos mostrado que la ventaja de la tolerancia posicional cero en MMC consiste en que permite aumentar la tolerancia de tamaño de la característica —con lo cual se facilita la producción y la aceptación de las piezas—, y esto se logra sin detrimento de la capacidad de las piezas para ser ensambladas. Por qué no se ve afectado el ensamblaje lo demostraremos al explicar el concepto de condición virtual.

15. Tolerancia de posición en condición RFS

La condición RFS se puede aplicar cuando se desea mantener la misma tolerancia posicional para cualquier tamaño de característica producido. La tolerancia de posición en condición RFS normalmente requiere un control más estricto de la característica, ya que la tolerancia no aumenta cuando la característica se aleja de MMC. Véase el siguiente ejemplo:



Diámetro producido	Tolerancia posicional
9.8 (MMC)	0.2
9.9	0.2
10	0.2
10.1	0.2
10.2 (LMC)	0.2

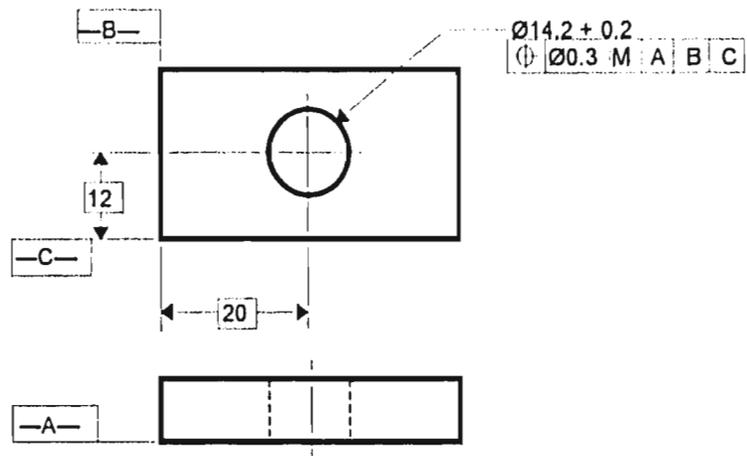
16. Condición virtual

La condición virtual es una frontera que combina el efecto del tamaño de característica en MMC y la tolerancia geométrica. La condición virtual permite establecer las condiciones MMC de dos características que vayan a ser ensambladas, a fin de garantizar que siempre se pueda realizar el ensamble, independientemente de los tamaños con que dichas características hayan sido producidas.

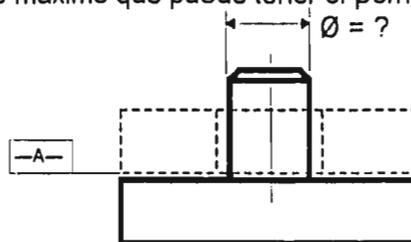
Para calcular la condición virtual de una característica interna, por ejemplo un agujero, se emplea la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} & \text{MMC DE LA CARACTERISTICA} \\ & - \text{TOLERANCIA GEOMETRICA EN MMC} \\ & = \text{CONDICION VIRTUAL} \end{aligned}$$

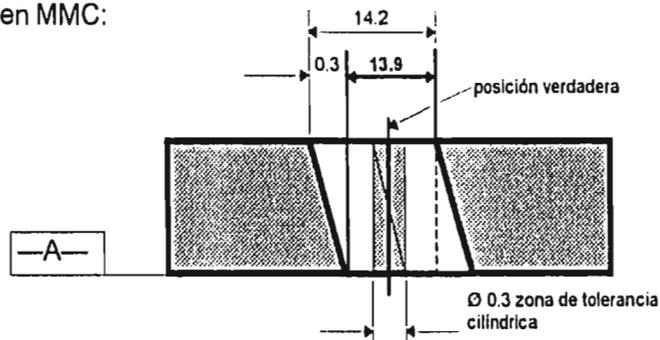
Ejemplo: calcular la condición virtual de la siguiente pieza.



La condición virtual del agujero es, en este caso, $14.2 - 0.3 = 13.9$. A esta condición virtual le podemos dar el siguiente significado físico: supongamos que queremos ensamblar la pieza anterior con otra pieza plana dotada de un perno, de tal manera que quede completamente asentada sobre la superficie dato A. ¿Cuál es el diámetro máximo que puede tener el perno?



El diámetro máximo que puede poseer el perno, para garantizar que las dos piezas puedan ensamblar siempre, es igual a la condición virtual del agujero, o sea 13.9. En consecuencia, la condición MMC del perno es 13.9. La razón de esto queda clara en la siguiente figura. En ella hemos representado el agujero en MMC, con la máxima desviación angular permitida por la tolerancia posicional, que es de 0.3 en MMC:

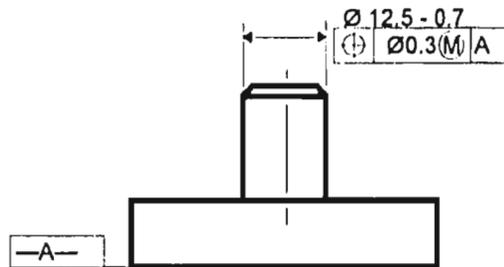


La figura anterior representa el caso del barreno más difícil de ensamblar, ya que se encuentra en el diámetro mínimo permisible (igual a MMC), y posee la desviación angular máxima permitida por la tolerancia posicional. En dicha figura podemos observar que la condición virtual 13.9 corresponde precisamente al máximo diámetro que le podríamos dar a un cilindro perpendicular a A, para que pudiera insertarse en el agujero.

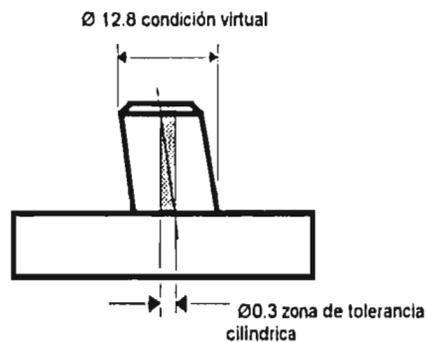
Para calcular la condición virtual de una característica externa, por ejemplo un perno, se emplea la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} & \text{MMC DE LA CARACTERISTICA} \\ & + \text{TOLERANCIA GEOMETRICA EN MMC} \\ & = \text{CONDICION VIRTUAL} \end{aligned}$$

Ejemplo: calcular la condición virtual de la siguiente pieza.



Puesto que MMC = 12.5, la condición virtual es $12.5 + 0.3 = 12.8$. Esta condición virtual se puede representar como sigue:

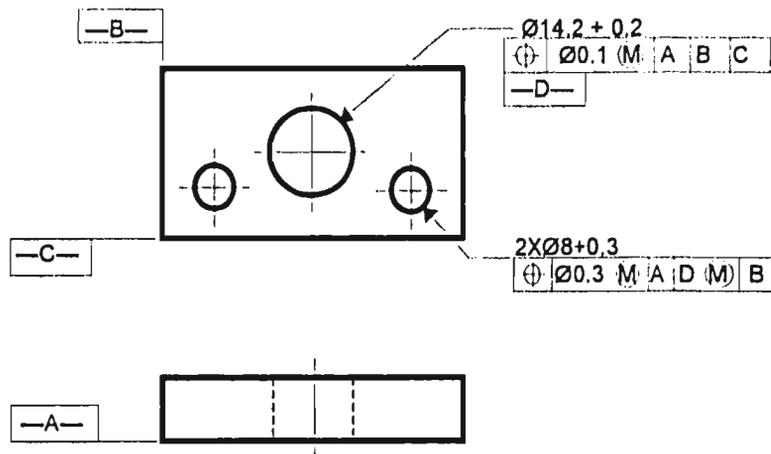


17. Condición virtual del dato

Este concepto se aplica principalmente en el caso de características dato cilíndricas, tanto internas como externas. Cuando el eje de una característica dato cilíndrica está sujeto a tolerancia de posición, dicha característica deberá ser

considerada siempre en su condición virtual. Esto implica que el dato teóricamente exacto (cfr. n.3 de este apéndice) que usemos para fijar nuestra característica dato —por ejemplo durante el maquinado de la pieza—, deberá ser fabricado al tamaño de la condición virtual.

En la siguiente pieza deseamos fijar dos barrenos de diámetro 8 usando como referencia el barreno dato D, el cual tiene una tolerancia de posición respecto de los datos A, B y C:



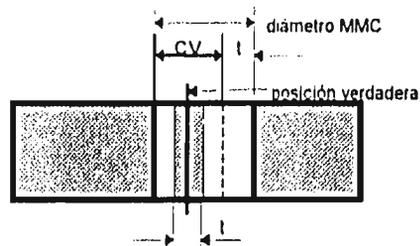
Para barrenar los dos agujeros pequeños, la herramienta de fijación deberá contar por ejemplo con algún perno para localizar el agujero D. Ese perno deberá fabricarse a un diámetro de 14.1, que es la condición virtual del agujero D ($14.2 - 0.1 = 14.1$). Esto es válido aún considerando que la especificación de posición de los dos barrenos pequeños indica "dato D en MMC".

18. Principio de Taylor y condición virtual

La condición virtual se puede presentar en dos casos distintos:

a) Máxima desviación posicional de una característica con forma perfecta en MMC. En la figura A se muestra este caso, con un barreno perfecto en el límite de la zona de tolerancia cilíndrica.

b) Máxima desviación de forma de la característica en MMC. La figura B muestra un barreno con máxima desviación angular.



CV = condición virtual
t = diámetro de la zona de tolerancia en MMC

Figura A

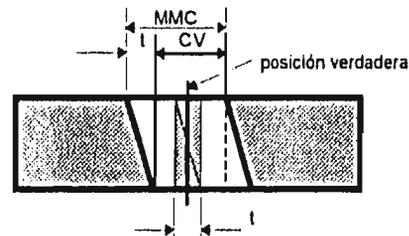


Figura B

Ahora bien, existe una norma en la industria norteamericana, llamada "principio de Taylor", que impone cierta restricción a la aplicación de la condición virtual. El principio de Taylor establece que "cuando una característica se encuentra en MMC, se requiere que tenga forma perfecta". En otras palabras, una característica en MMC no puede tener una desviación de forma como la mostrada en la figura B. Solamente en la medida en que la característica se aleja de MMC (lo que sucede, en el caso mostrado, cuando aumenta el diámetro del agujero), se podrá admitir una desviación en la forma.

El principio de Taylor sí admite, en cambio, una desviación en la posición de la característica en MMC. La desviación permisible corresponde, por supuesto, a la tolerancia posicional en MMC, como se muestra en la figura A. Es importante hacer notar que la norma ANSI Y14.5M-1982 aplica el principio de Taylor, a diferencia de otros sistemas de dimensionado y tolerado geométrico.

APENDICE B

Estudio de repetibilidad y reproducibilidad (R y R) para el dispositivo de inspección

1. Como requisito para la liberación del dispositivo de inspección por parte del cliente, se requiere efectuar un estudio de R y R para cada una de las características que inspecciona el dispositivo. El equipo de medición con que se hará este estudio es la máquina de medición de coordenadas (CMM).

2. Para realizar todas las mediciones, cada módulo de inspección debe estar fijo en la posición teórica de la característica. Para esto se deben emplear los pernos de fijación descritos en el capítulo 6 (pieza 21).

3. Un prerrequisito para realizar este estudio es que la precisión del dispositivo debe estar comprobada. Conviene por tanto aclarar este concepto:

Precisión del dispositivo: la precisión con la que el dispositivo mide una característica es la diferencia entre la medición de esa característica en el dispositivo, hecha por medio de la máquina CMM, y el valor teórico de la característica. El requisito de precisión que debe cumplir el dispositivo consiste en que todas las mediciones que se hagan, durante el estudio de R y R de una característica, deberán quedar dentro de la tolerancia de dispositivo especificada para esa característica.

En cuanto a los conceptos de repetibilidad y reproducibilidad, en el capítulo 3, apartado 3.3, h), dimos una definición de cada uno. Sin embargo, esas definiciones se aplican principalmente a dispositivos de inspección por variables, que son los que dan como resultado el valor numérico de una medición. En nuestro caso estamos analizando un dispositivo de inspección por atributos, que simplemente genera el resultado "PASA" o "NO PASA" según el estado de las piezas. Por tanto las definiciones de repetibilidad y reproducibilidad que aplicaremos aquí son algo distintas:

Repetibilidad del dispositivo. Es la variación de las mediciones cuando un mismo operador mide varias veces la misma característica en el dispositivo.

Reproducibilidad del dispositivo. Es la variación de las mediciones promedio hechas por varios operadores sobre la misma característica en el dispositivo.

En un estudio de R y R común y corriente, el dispositivo se usa para medir varias piezas, y se registra cada medición realizada. En cambio, en el caso del dispositivo de inspección del múltiple, se examinará su capacidad de generar y repetir la posición teórica de una característica geométrica.

4. El procedimiento para efectuar el estudio de R y R de una característica en el dispositivo será como sigue:

- Seleccionar tres operadores de la máquina CMM.
- El operador A efectuará 10 mediciones de la característica. Entre una medición y otra, deberá sacar el módulo de inspección de su posición teórica, y colocarlo nuevamente en esa posición.
- Los operadores B y C repiten el procedimiento descrito en b).
- Hacer una segunda serie de mediciones, en la cual se repiten los pasos b) y c).
- Las mediciones obtenidas se vacían en la tabla B.1.
- Con los resultados de la tabla B.1 se calcula la R y R de la característica en la tabla B.2. (se le han puesto algunos datos como ejemplo).
- Los criterios de evaluación de la R y R del dispositivo para la característica estudiada son los siguientes:

$\%(R \text{ y } R) < 10\%$: aceptable.

$10\% \leq \%(R \text{ y } R) < 30\%$: puede ser aceptable dependiendo de la importancia de la característica y del costo de modificar el dispositivo.

$\%(R \text{ y } R) > 30\%$: no es aceptable; el dispositivo deberá ser modificado para corregir el problema.

HOJA DE DATOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

OPERADOR	A			B			C		
MEDICION #	SERIE 1	SERIE 2	RANGO	SERIE 1	SERIE 2	RANGO	SERIE 1	SERIE 2	RANGO
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
	$\Sigma(\text{SERIE 1}) =$	$\Sigma(\text{SERIE 2}) =$	$R_A =$	$\Sigma(\text{SERIE 1}) =$	$\Sigma(\text{SERIE 2}) =$	$R_B =$	$\Sigma(\text{SERIE 1}) =$	$\Sigma(\text{SERIE 2}) =$	$R_C =$
	$\bar{X}_A = (\Sigma(\text{SERIE 1}) + \Sigma(\text{SERIE 2})) / 2 =$			$\bar{X}_B = (\Sigma(\text{SERIE 1}) + \Sigma(\text{SERIE 2})) / 2 =$			$\bar{X}_C = (\Sigma(\text{SERIE 1}) + \Sigma(\text{SERIE 2})) / 2 =$		

$$\bar{R} = (\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C) / 3 =$$

$\bar{X} \text{ máx.} =$ máximo valor de entre \bar{X}_A, \bar{X}_B y \bar{X}_C
 $\bar{X} \text{ mín.} =$ mínimo valor de entre \bar{X}_A, \bar{X}_B y \bar{X}_C

$$\bar{X} \text{ dif.} = \bar{X} \text{ máx.} - \bar{X} \text{ mín.} =$$

Tabla B.1. Hoja de datos de repetibilidad y reproducibilidad

XXXX S.A. DE C.V.		REPORTE DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD DE DISPOSITIVO	
DISPOSITIVO N°	XXX-XXXX-XXX		
PARTE N°:	XXX-XXXX	NIVEL DE CAMBIO:	B
NOMBRE DE LA PARTE: MULTIPLE DE ESCAPE TUBULAR			
USO: MOTOR 2.0L DOHC			
APLICA TAMBIEN A PARTES N°:	N/A		
CARACTERISTICA:	TOLERANCIA POSICIONAL DEL BUJE M6X1 DERECHO (PUNTO L2)		
ESPECIFICACION:		Ø0.1 (M)	A B (M) C (M)
Información de la Hoja de datos de R y R:			
$\bar{R} =$		$\bar{X} \text{ dif.} =$	
Repetibilidad - Variación del Dispositivo (VD):			
$VD = \bar{R} \times 4.56 =$			
$\%VD = 100 (VD / \text{tolerancia}) =$			
Reproducibilidad - Variación del Inspector (VI):			
$VI = \sqrt{(\bar{X} \text{ dif.} \times 2.70)^2 - [VD / (n-m)]^2} =$			
n = número de mediciones por serie m = número de series			
$\%VI = 100 (VI / \text{tolerancia}) =$			
Repetibilidad y Reproducibilidad (R y R):			
$RyR = \sqrt{VD^2 + VI^2} =$			
$\%RyR = 100 (RyR / \text{tolerancia}) =$			

Tabla B.2. Reporte de repetibilidad y reproducibilidad

BIBLIOGRAFIA.

- 1 Boylestad, Nashelsky. "Electrónica. Teoría de Circuitos". Prentice-Hall Hispanoamericana. 1986
- 2 Cross, Nigel. "Engineering Design Methods". John Wiley & Sons. 1989
- 3 De Garmo, E. Paul. "Materials and Processes in Manufacturing". 4th. Edition. McMillan Publishing Co. 1974
- 4 Feigenbaum, Armand. "Control Total de Calidad". Compañía Editorial Continental. México, 1988.
- 5 Festo Pneumatic. Catálogo Básico. México. Septiembre 1996
- 6 Hoffman, Edward G. "Jig and Fixture Design". Delmar Publishers, Inc. 1991
- 7 Juran, J.M.; Gryna, Frank M. "Quality Planning and Analysis". 2nd. Edition. McGraw-Hill Publishing Co. 1980
- 8 Liggett, John V. "Dimensional Variation Management Handbook". Prentice-Hall, Inc. 1993
- 9 Love, Sydney F. "Planning and Creating Successful Engineered Designs". Advanced Professional Development, Inc. 2nd. Edition. 1986
- 10 Madsen, David A. "Geometric Dimensioning and Tolerancing". 4th. Edition. The Goodheart-Willcox Company, Inc. 1988
- 11 Mäntylä, Martti. "An Introduction to Solid Modeling". Computer Science Press. 1988
- 12 Norma Oficial Mexicana NOM-CC-2-1990. "Sistemas de Calidad—Gestión de Calidad. Guía para la Selección y el Uso de Normas de Aseguramiento de Calidad".
- 13 Norma Oficial Mexicana NOM-CC-3-1990. "Sistemas de Calidad—Modelo para el Aseguramiento de Calidad Aplicable al Proyecto/Diseño, la Fabricación, la Instalación y el Servicio".

14 Oberg, Erik *et al.*, Editors. "Machinery's Handbook". 23rd. Edition. Industrial Press Inc. 1989

15 Puncochar, Daniel E. "Interpretation of Geometric Dimensioning and Tolerancing". Industrial Press Inc. 1990

16 Grupo de Trabajo VDA-DGO. "Auditoría de Sistemas de Gestión de Calidad". 6a. edición. Alemania, 1993.