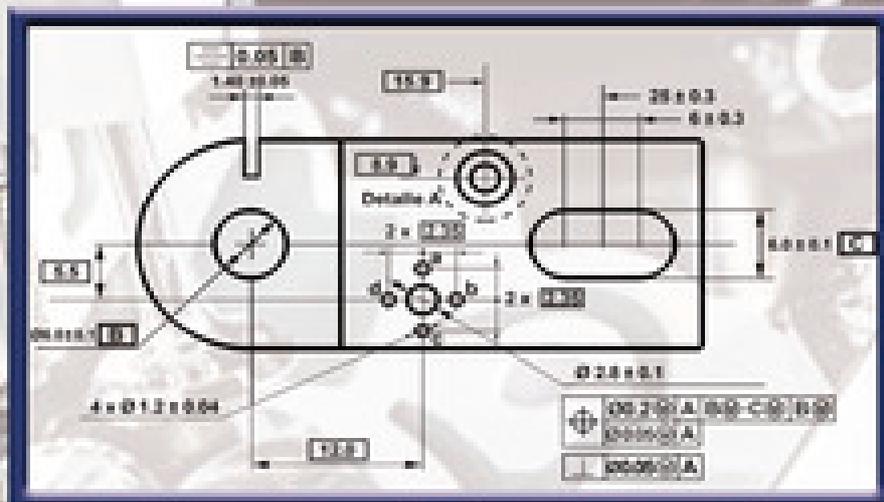


Aplicación, interpretación y verificación
de las
Tolerancias Geométricas
GD&T
(Geometric Dimensioning and Tolerancing)



Basada en las normas ISO 1101 y ASME 14.5

Jordi Sancho Ródenas

PUNTO ROJO
libros

4.5.1 Perfil en forma y posición tolerancia asimétrica norma ASME	113
4.5.2 Perfil en forma y posición tolerancia asimétrica norma ISO	118
4.5.3 Zona combinada o común de tolerancia	123
4.5.4 Forma - NOTAS:.....	125
5 TOLERANCIAS de ELEMENTOS RELACIONADOS.....	127
5.1 Tolerancias de orientación.....	130
5.1.1 Paralelismo	131
5.1.1.1 Paralelismo de arista o plano a Datum.....	132
5.1.1.2 Paralelismo de eje a Datum	134
5.1.2 Perpendicularidad	137
5.1.2.1 Perpendicularidad de arista o plano a Datum.....	138
5.1.2.2 Perpendicularidad de eje a Datum	140
5.1.3 Angularidad o Inclinación.....	143
5.1.3.1 Angularidad de arista o plano a Datum	144
5.1.3.2 Angularidad de eje a Datum	146
5.1.4 Orientación – Referencias pieza vs geometría de referencia	159
5.1.5 Orientación – Creación de dependencias.....	154
5.1.6 Orientación – Plano Tangente	156
5.1.7 Orientación – Orden y Amplitud en la medición	159
5.1.8 Orientación – Casos particulares	161
5.1.9 Orientación – Notas.....	164
5.2 Tolerancias de Localización.	165
5.2.1 Posición o Posición verdadera	166
5.2.1.1 Posición verdadera <i>simple</i> en dirección a datum	167
5.2.1.2 Posición verdadera <i>simple</i> en diámetro	174
5.2.1.3 Posición verdadera en diámetro con condición de material.....	184
5.2.1.3.1 mínima condición de material.....	195
5.2.1.3.2 Calculo gráfico - Paper gaging	198
5.2.1.4 Posición verdadera en diámetro compuesta, en condición de material.....	206
5.2.1.5 Posición verdadera en rotación	219
5.2.2 Concentricidad / Coaxialidad.....	225
5.2.2.1 Concentricidad	226
5.2.2.2 - Concentricidad entre ejes o Coaxialidad..	229
5.2.3 Simetría.....	232
5.3 Tolerancias de Oscilación.	236
5.3.1 - Oscilación circular (o de sección).....	237
5.3.2 - Oscilación Total (o de superficie)	241
6 MODIFICADORES ASOCIADOS	245
APÉNDICE 1	257
APÉNDICE 2	261
APÉNDICE 3	267
APÉNDICE 4	275
APÉNDICE 5	279
BIBLIOGRAFÍA	283

APLICACIÓN, INTERPRETACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LAS TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS - GD&T

(GEOMETRIC DIMENSIONING AND TOLERANCING)

AGRADECIMIENTOS:

Quiero dar las gracias a compañeros, clientes, alumnos y a todos los profesionales que con sus consejos, discusiones, sugerencias y preguntas me han hecho crecer a nivel profesional y que tanta “culpa” tienen en las aportaciones que he ido interiorizando a lo largo de estos años y que me han llevado a publicar este nuevo tratado. No puedo dar nombres por temor a dejarme sin nombraros a alguno de vosotros, pero de verdad quiero que tú que me conoces, que me has ayudado, con el que he discutido sobre diseños o acotación, que me has puesto en dificultades con tus preguntas, te des por aludido y recibas mis más sincero agradecimiento.

¡Cómo no dar las gracias a mi familia! Ellos que siempre están a mi lado animándome con su apoyo, que siempre han creído en mí y sobre todo siempre dándome su cariño, ese que tanto necesito y al que espero saber corresponder.

Por supuesto una mención muy especial a mi esposa Favy. Por hacerme sentir el hombre más importante del mundo.

PRÓLOGO

Prólogo del autor:

Este tratado, no pretende en ningún modo ser un sustitutivo de ninguna norma. Pretende ser una ayuda práctica a la aplicación, acotación e interpretación de las normas de TOLERANCIAS GEOMETRICAS - GD&T (Geometrical Dimensioning and Tolerancing).

He intentado huir de explicaciones excesivamente teóricas e ir a la práctica de los ejemplos. Veréis que en muchos de los casos, se le da a la interpretación, la vertiente de cómo verificar o medir las tolerancias especificadas. Esto lo he hecho así, porque a través del resultado práctico, vemos su funcionalidad real y por lo tanto el metrologo o verificador puede ver exactamente cómo hacerlo y comprobarlo, pero el diseñador ve también cual es el efecto real y por lo tanto si la tolerancia en concreto, le sirve para acotar un defecto y sobre todo si los resultados que le van a entregar es lo que realmente necesita. A la vez, por lo tanto, el fabricante, llega al conocimiento de que es lo que se le está exigiendo.

También he intentado profundizar en reflejar la “filosofía” del porqué ya que esto le da un auténtico valor tanto a nivel funcional como interpretativo. No hay mejor manera de interpretar la acotación que el conocimiento del porqué.

Cuando hablamos de tolerancias geométricas, hablamos de un modo de acotación totalmente funcional. Hablamos por tanto de un método de acotación que lo que intenta es determinar pieza buena o pieza mala, pero siempre desde un punto de vista funcional. Esto quiere decir que las alineaciones y las tolerancias aplicadas, deben reflejar el modo de fijación y funcionamiento real de la pieza para que, de este modo, la que sea rechazada realmente sea una pieza no funcional. El plano de la pieza, debería ser como una galga pasa /no pasa de la pieza.

*Hay que romper con la idea de que Tolerancias Geométricas es un método restrictivo que “endurece” la aceptabilidad de la pieza ya que es todo lo contrario. **En realidad es un método de acotación pensado para dar el mayor margen posible a la fabricabilidad de la pieza** siempre y cuando esta esté dentro de los márgenes de diseño. Es por tanto un método que nos **ayuda a reducir costes**, ya que nos permite adaptar las tolerancias al funcionamiento real y pieza concreta.*

En este tratado he intentado reflejar la experiencia adquirida a lo largo de mi carrera profesional, tanto desde la vertiente del propio diseño como en la industrialización o la propia interpretación de planos y medición de piezas. He incorporado también la experiencia pedagógica adquirida en los centenares de formaciones que he impartido y que me han enriquecido enormemente. Sin duda alguna, esta experiencia es la mayor aportación que puedo ofrecer.

En mi anterior publicación del 2007 decía:

“Este manual, no pretende ser algo definitivo, sino precisamente todo lo contrario. Pretendo que sea algo vivo, que cuando profundices en él, lo hagas no únicamente con la visión de aprender, sino también con la idea de aportar”.

Si algo me ha enseñado mi experiencia profesional, es que siempre podemos aprender y enseñar, que siempre debemos estar abiertos y dispuestos a las dos vertientes. Esto es lo que realmente nos hace crecer tanto profesionalmente como personalmente. Este libro es un fiel reflejo de ello, ya que está enriquecido con la experiencia e inquietudes no solo mías sino de todos los profesionales con los que he compartido experiencias. En realidad no se trata de una evolución a mi anterior publicación sobre este tema. No es por tanto una nueva edición si no que es realmente un nuevo tratado mucho más extenso y rico.

Quiero provocar dar un paso más. Que entendamos que la acotación en Tolerancias Geométricas es mucho más que un sistema de acotación. Es una filosofía de diseño, de diseño robusto que debe iniciarse en el momento de comenzar a pensar en las piezas a diseñar.

Todo el proceso debe dirigirse de forma inequívoca y acompasada a conseguir procesos, piezas y productos sin fallos. Tolerancias Geométricas es un pilar fundamental en este objetivo, “diseño robusto”.

En mi tratado anterior también decía lo siguiente:

“Ahora tengo un documento de partida, un documento sobre el cual continuaré trabajando, mejorándolo y ampliándolo. Espero sinceramente no hacerlo solo”.

Pues bien, aquí está el resultado ¿el resultado final? Por supuesto que no! y al igual que decía entonces, continúo decidido a continuar aprendiendo y a mejorarlo para lo que también quiero poder contar con tus aportaciones y sugerencias. Entre todos, con nuestras aportaciones y experiencias haremos de unas “normas” algo realmente vivo y de grandísima utilidad.

Muchísimas gracias por vuestro apoyo, interés, enseñanzas, ... y sobre todo por vuestra amistad.

Jordi Sancho Ródenas

Prólogo Emilio Angulo:

Las tolerancias geométricas representan una de las asignaturas olvidadas por la gran mayoría de escuelas de ingeniería, a pesar de su importancia en la acotación funcional de piezas y ensamblajes. En mi caso, como en el de la gran mayoría de profesionales de la ingeniería mecánica, las tolerancias geométricas han representado un reto a la hora de entenderlas y utilizarlas correctamente. La primera vez que cayó en mis manos un plano con acotación funcional basada en datums, y con un montón de extraños símbolos, me di cuenta de lo mucho que aún me quedaba por aprender. Y la verdad es que no fue fácil encontrar una documentación donde se explicase de una forma precisa, clara, unívoca y razonada el significado espacial de cada uno de los elementos que componen esta disciplina. Suelen ser las tolerancias geométricas las que más discusiones suscitan entre los técnicos en metrología, los delineantes y los ingenieros – de desarrollo, calidad y producción – para asegurar su correcta interpretación, así como los procesos para su medida. Como cualquier acotación realizada en un plano, las tolerancias geométricas son clave para dotar a las piezas de una buena calidad, aportando una visión funcional indispensable para definir correctamente aspectos principales en su forma, y de cómo unas piezas se referencian con respecto a otras, dentro de un ensamblaje. Normalmente invertimos muchas horas calculando las dimensiones de cada cota así como sus rangos de tolerancia. Los análisis de peores casos nos permiten asegurar que todos los ajustes serán correctos, y que las piezas funcionarán bien, montando, todas con todas, a lo largo de la serie. Pero es la acotación funcional, la toma de referencias basadas en datums la que primero ha de pensarse dentro del proceso mental de concepción y diseño de una pieza.

Nadie debería comenzar el desarrollo de un sistema mecánico sin pensar en cómo se referencian las piezas dentro de un conjunto, cuáles son sus datum, por donde pasan, como se establecen y como se van a medir. La forma, y no solo las dimensiones, van a influir en el correcto funcionamiento del sistema. La acotación funcional y las tolerancias geométricas no son solo una técnica de acotación, son una metodología de diseño.

El presente libro constituye probablemente la mejor obra en castellano a sobre esta materia. Las ilustraciones y los comentarios, basados en la vastísima experiencia de su autor, conducen al lector de forma fácil, amena, clara y rigurosa por los múltiples conceptos tratados.

El libro de Jordi Sancho es de lectura obligada para los neófitos que se inicien en el maravilloso mundo de la ingeniería mecánica, y se convertirá en una herramienta indispensable que los acompañará a lo largo de sus carreras profesionales.

Emilio Angulo Navarro
Dr. ingeniero industrial
Ingeniero de telecomunicaciones

Prólogo Faviola Galindo:

No hablaré técnicamente de este libro, pero estoy segura que se trata de una gran obra que seguro todos los técnicos/as y profesionales expertos sabrán valorar y poner en su justo lugar. Quiero hablar de la parte humana de su autor, de Jordi.

Durante más de cuatro años he sido testigo de la dedicación, voluntad, esfuerzo y finalmente la ilusión por realizar y terminar esta obra. Jordi ha aprovechado cualquier oportunidad para poder dedicarse a su obra y si no la tenía, la ha forzado. Podría quejarme ya que la inmensa mayoría de esos tiempos me afectaban de forma directa, pero el ver las ganas, ilusión y sobre todo el esfuerzo de Jordi, ... yo misma me sentía su cómplice y ver como que una parte de ese esfuerzo también era el mío. Él ha querido poner en este libro todo su conocimiento y experiencia profesional en sus más de 30 años de carrera, tanto a nivel industrial como en su vertiente de docente de la materia en cuestión. Evidentemente hay aspectos como la intuición, imaginación o incluso la vocación que no quedarán reflejados en el libro y que es parte interna que cada uno de vosotras/os debéis de añadir o interiorizar.

Lo que os puedo garantizar es que en este libro, como en todo lo que hace, ha puesto todo su corazón y dedicación. Ha querido mostrar y transmitir su conocimiento a las personas y no guardarlo solo para él. Este hecho de “darlo todo” en lo que se compromete, es uno más de los motivos por lo que me siento tan orgullosa de él.

Estoy segura de que esta obra os acompañará de ahora en adelante como libro de consulta y referencia a lo largo de vuestra carrera profesional y que lo tendréis siempre en un lugar muy accesible de vuestra biblioteca.

Faviola Galindo Martínez
Lda. en Psicología
Esposa y cómplice de Jordi

PRESENTACIÓN

Este documento, está basado en las normas ISO1101 y ASME Y14.5M, así como del resto de normas que “cuelgan” de ellas, como las GPS (Geometrical Product Specifications de las normas ISO). En ASME las Tolerancias Geométricas se denominan con las siglas **GD&T** (Geometric Dimensioning and Tolerancing).

Además de los ejemplos propios, este documento se ha apoyado en ejemplos extraídos de las normas mencionadas.

Para un perfecto seguimiento de los distintos apartados, y que el estudio de estos los podamos ir compaginando con la propia norma, primero veremos unos capítulos de gran importancia y que deberemos conocer como parte imprescindible de la norma. Estos se reflejan en la tabla siguiente:

Definición	Símbolo	Ver Capítulo
Dimensión Básica		1
Datum o Referencia		2
Target Point / Punto de referencia		2.4

Tabla 1

Para las características propiamente dichas hemos seguido como guía, el cuadro de tolerancias geométricas que aparece en las propias normas mencionadas:

Aplicación	Tipo de Tolerancia	Característica	Símbolo	Ver Capítulo
Características simples no relacionadas	Forma	Rectitud		3.1
		Planitud		3.2
		Redondez		3.3
		Cilindricidad		3.4
Características simples o relacionadas	Perfil	Perfil de línea		4.1 y 4.3
		Perfil de superficie		4.2 y 4.4
Características relacionadas	Orientación	Angularidad		5.1.3
		Perpendicularidad		5.1.2
		Paralelismo		5.1.1
	Localización	Posición verdadera *		5.2.1
		Concentricidad **		5.2.2
		Simetría		5.2.3
	Oscilación	Oscilación circular		5.3.1
Oscilación Total			5.3.2	

* En ocasiones puede no ir relacionada. ** También coaxialidad en ISO

Tabla 2

Todas las divisiones y subdivisiones de los capítulos, están distribuidos de la misma manera que en las tablas anteriores y se le añade el capítulo de la norma pertinente a la que hace referencia.

Antes de comenzar con los distintos apartados, es interesante constatar que en la actualidad, las diferencias entre las normas de referencia ISO 1101 y ASME Y14.5M, son mínimas. Aunque en sus inicios, estas tenían más diferencias, la globalización, ha ido haciendo necesario que a lo largo del tiempo, estas se fueran unificando, hecho que salvo mínimas diferencias, quedo establecido a partir de 1994. Actualmente las diferencias están basadas en las explicaciones y ejemplos, que las distintas normas incorporan, y no en la simbología o interpretación aunque en las últimas revisiones sí que hay alguna diferencia que también será explicada en este tratado. Como muestra de este hecho, a continuación podemos ver una comparativa de la simbología más común:

CARACTERÍSTICA	ISO	ASME
Rectitud	—	—
Planitud		
Redondez		
Cilindricidad		
Perfil de línea		
Perfil de superficie		
Paralelismo		
Perpendicularidad		
Angularidad		
Posición		
Concentricidad		
Simetría		
Oscilación circular		
Oscilación Total		
Dimensión básica		
Datum		
Target (punto de referencia)		
Máxima condición de material		
Tolerancia proyectada		
Plano tangente		
Medición en estado libre		
Dimensión auxiliar	(52.4)	(52.4)

* Usado también para coaxialidad.

Tabla 3

En realidad debemos tener en cuenta que tolerancias geométricas es un lenguaje, un lenguaje de símbolos pero un lenguaje. Podríamos decir lo mismo de las señales de tráfico. Estas son un lenguaje que nos van guiando y explicando durante nuestro recorrido por carretera y nos van avisando o advirtiéndolo de peligros e incluso limitando acciones que no debemos realizar.

Tolerancias geométricas por medio de un lenguaje de símbolos nos explica cómo se monta la pieza, como otras piezas posiblemente monten en ella y nos explica funcionalidad y límites de aceptabilidad.

En un lenguaje oral, todos sabemos que dependiendo de las zonas, regiones, países, ... donde se hable, se utilizarán unas declinaciones y modos de uso particulares aunque la raíz sea la misma. Esto no supone que dos personas de distintas zonas geográficas que hablen el mismo idioma pero con distintos modos de uso no puedan entenderse, si no que todos sabemos que se entenderán perfectamente con un mínimo esfuerzo. Esto mismo es en realidad lo que pasa con las normas ISO o ASME. Al tratarse de un fondo o raíz común, aunque tengan cada una sus matices y/o particularidades, siempre deberíamos entender perfectamente un plano este acotado bajo una u otra norma.

A lo largo de este tratado, también explicaremos distintos símbolos adicionales como:

Definición	Símbolo	Ver Capítulo
Máxima condición de material	Ⓜ	5.5.1.3
Mínima condición de material	Ⓛ	5.2.1.3.1
Estado libre	ⓕ	2.6
Plano tangente (ASME)	Ⓣ	5.1.6
Zona de tolerancia proyectada	Ⓟ	6
Tolerancia perfil asimétrica (ASME - Unequally)	Ⓤ	4.4.1
Tolerancia perfil asimétrica (ISO – Unequally Zone)	UZ	4.4.2
Zona Comun (ISO)	CZ	4.4.3
Dimensión auxiliar	(50)	6

Tabla 4

En este documento, en algunos casos, se intenta explicar algún tema desde el punto de vista del diseñador, que se enfrenta a la necesidad de acotar un plano de una pieza y que como es lógico su intención debe de ser la de aportar la mayor claridad para una correcta fabricación y verificación de la misma. También se hace hincapié en algo que debemos considerar importantísimo, que aunque hay tolerancias que numéricamente puedan ser compatibles un buen plano debe reflejar no únicamente un valor numérico al que atenerse si no que debe reflejar y transmitir la **“funcionalidad”** de la pieza o conjunto representado. Tolerancias geométricas es esto precisamente, no es únicamente un método de acotado si no que **es un método explicativo de funcionalidad mecánica**.

El método explicativo adoptado intenta también que el verificador, a su vez, se ponga en lugar del diseñador y así en muchos casos de forma intuitiva, interpretar el plano. También de este modo, en el caso de acotaciones incompletas, o no completamente bien definidas, el verificador, podrá hacerse una composición más global, que le ayude a ser él, el que tome las iniciativas necesarias y suficientes para una correcta verificación de la pieza.

Debemos tener en cuenta, tal y como hemos comentado anteriormente, que la acotación es un lenguaje de símbolos, y que por lo tanto, todas las partes que intervienen en procesos con planos, deben conocer este lenguaje a la perfección. Aun así, el que un plano esté “*algo*” incompleto, no debe llevarnos a la conclusión de que no se puede trabajar con él. Sería como interpretar un escrito al que le faltan algunas letras, palabras o incluso algún párrafo. Siempre podemos intentar interpretarlo, siempre que estas faltas de información, no sean excesivas. Debemos tener en cuenta, que el que diseña y acota un plano, maneja toda la información, y que aunque son cosas que debe de evitar, en ocasiones puede dar como asumidas o evidentes, cosas que en realidad, para personas que no han participado en esos procesos, no lo son.

Aun así:

El diseñador por lo tanto, deberá tener en cuenta que un plano, es un documento que una persona, sin ningún conocimiento previo de la pieza ni de su funcionalidad, y únicamente con el plano, debe ser capaz de fabricarla o verificarla, sin ningún lugar de duda o mala interpretación.

Es más, debemos tener en cuenta que **un plano tiene carácter contractual** y “ata” por tanto a cliente y proveedor, por lo que en el no debería haber cabida a dobles o malas interpretaciones.

Como ya se comentado anteriormente:

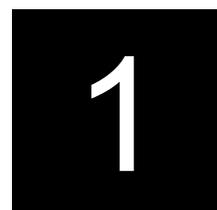
Un plano debe explicar perfectamente como monta la pieza representada (referenciación principal), como posiblemente otras piezas montan en ella (sistemas alternativos de referenciación) y dar una idea lo más clara posible de su funcionalidad (acotación en tolerancias geométricas).

También comentar que la denominación que se le da las distintas tolerancias no es importante. Por ejemplo, es lo mismo hablar de planitud que de planicidad, o angularidad que inclinación, cilindridad que cilindricidad, etc. Lo importante es el símbolo y su interpretación.

El plano de una pieza mecánica es en realidad definición de producto y en el caso de tolerancias geométricas incide directamente en el diseño o es parte de él.

Podríamos decir que el diseño de una pieza queda realmente validado si “supera” la perfecta especificación del plano acotado en tolerancias geométricas sin que este dé lugar a dobles o inexactas interpretaciones.

Tolerancias geométricas es mucho más que una simple acotación de plano por medio de símbolos. Tolerancias geométricas es parte intrínseca e inseparable del propio diseño. Bien utilizado, el sistema de acotación en Tolerancias Geométricas junto con el “cálculo de las cadenas de tolerancias”, es garantía de un **diseño robusto**.



DIMENSIONES BÁSICAS

Dimensiones Teóricamente exactas
(ISO 1101 capítulo 10; ASME 14.5 capítulo 1.3.23)

En este capítulo vamos a hablar de las “dimensiones básicas – basic dimensions”, según su denominación en norma ASME o “dimensiones teóricamente exactas – Theoretically exact dimensions (TED)”, según su denominación en norma ISO.

Lo primero que debemos tener claro cuando nos enfrentamos al plano de la pieza, es que son las dimensiones básicas y como se aplican, ya que estas se utilizan tanto para definir las referencias de la pieza, como para definir muchas de las tolerancias geométricas o zonas de aplicación de estas mismas.

Las dimensiones básicas, son dimensiones o coordenadas teóricamente *exactas* que nosotros deberemos respetar.

Pueden ser la ubicación de un punto de contacto, zona de aplicación de alguna tolerancia, el centro teórico de un círculo, etc.

Estas cotas por definición *nunca* tienen tolerancia y se sitúan dentro de un recuadro:

52.4

Podemos distribuir las en tres grupos principales:

- 1) Dimensiones básicas de ubicación de los puntos de referenciación.
- 2) Dimensiones básicas que limitan zonas de aplicación.
- 3) Dimensiones básicas que aplican a una Tolerancia Geométrica.

Vamos a ver que son exactamente en cada caso:

1.1 Dimensiones básicas de Ubicación de los puntos de referenciación.

Como veremos en el próximo capítulo, para poder decidir si una pieza es dimensionalmente correcta, esta deberá estar ubicada dentro de un espacio tridimensional y para ello se deberán definir unos puntos de alineación que deberán estar reflejados en el plano. Si para ubicar estos puntos, se necesitaran unas coordenadas, estas siempre serán dimensiones básicas:

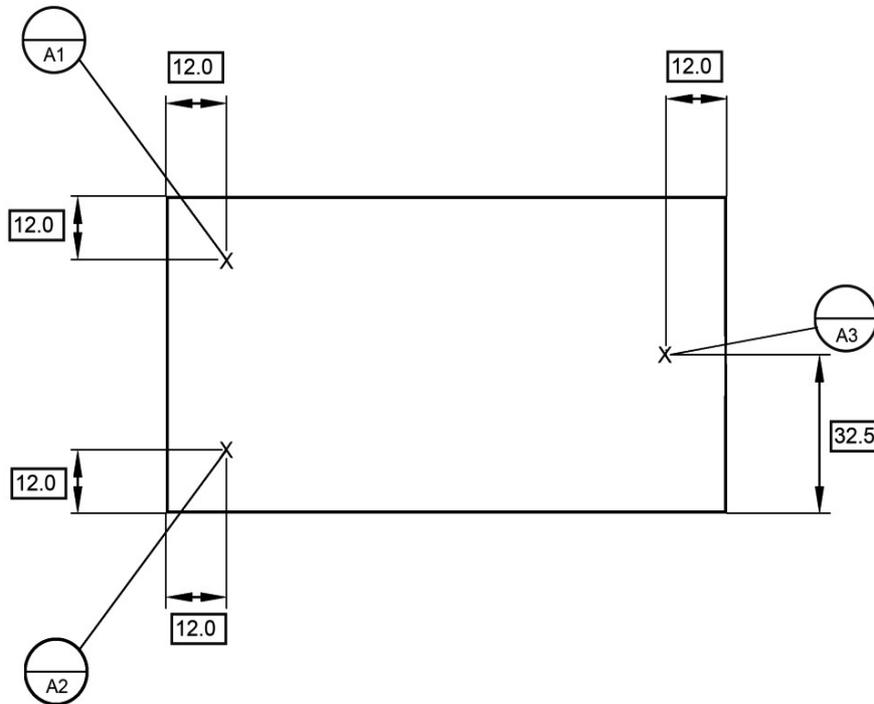


Figura 1

En la figura 1 podemos ver una serie de dimensiones básicas que ubican los puntos por donde tendremos que establecer la referencia A (esto lo veremos en el próximo capítulo). En este caso, vemos claramente que las dimensiones básicas no hacen referencia a ninguna geometría o característica física de la pieza si no que en realidad son “instrucciones” a cumplir o dicho de otra forma, un “input” que debemos respetar. Por ejemplo, el punto A1 deberemos tocarlo, o apoyar la pieza en las coordenadas 12.0, 12.0 y no otra. Estas medidas deben respetarse exactamente sin ninguna tolerancia. Son por tanto dimensiones **no medibles**, una coordenada exacta donde “apoyarse” para referenciar la pieza.

En este caso, estas dimensiones no tienen por qué reflejarse en un informe de metrología ya que son una “instrucción” que debe ser cumplida.