



BENEMÉRITA **U**NIVERSIDAD

AUTÓNOMA DE **P**UEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

COLEGIO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA

**ESTUDIO DE INCERTIDUMBRE POR
COMPARACIÓN DE EQUIPO DE
MEDICIÓN EN EL PROCESO DE FLAUTA
DE CORRUGADO**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO Y ELÉCTRICO

PRESENTA:

Hugo Miguel Berra Vargas

ASESOR:

Dr. Javier Flores Méndez

PUEBLA, PUE.

FEBRERO 2014

CAPITULO 1	4
INTRODUCCIÓN	4
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.2 JUSITIFICACIÓN	5
1.3 OBJETIVOS	7
1.3.1 OBJETIVOS GENERAL.....	7
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
CAPITULO 2	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1 CLASIFICACIÓN DE LA METROLOGÍA.....	8
2.2 Definición del Mensurando	9
2.3 Error en la medición	9
2.4 Propagación de errores de computación.....	10
2.5 Tipos de Error	11
2.5.1 Error de Abbe	11
2.5.2 Error de Paralaje	12
2.5.3 Error de Resolución.....	14
2.6 Repetibilidad	15
2.6.1 Formula de Repetibilidad	15
2.7 Elección del instrumento de medición	16
2.8 Estimación de Incertidumbre	17
2.9 Tipos de Incertidumbre	18
2.9.1 Incertidumbre tipo A.....	18
2.9.2 Incertidumbre tipo B.....	19
2.9.3 Incertidumbre Combinada	20
2.9.4 Incertidumbre Expandida.....	21
2.10 Ingeniería Inversa	22
2.10.1 Sistemas con contacto	23
2.10.2 Sistemas sin contacto.....	24

2.10.3 Modelos Virtuales con uso de CAD	25
CAPITULO 3	27
ANALISIS DE INCERTIDUMBRE.....	27
3.1 Definición del Mensurando	27
3.2 Modelo Matemático.....	31
3.3 Elección de Instrumentos de medición.....	33
3.4 Estimación de la incertidumbre de los instrumentos	45
3.5 Aplicación de la Ingeniería Inversa	53
3.6 Creación del modelado virtual y conversión al ambiente CAD	60
CAPITULO 4	70
Resultados.....	70
4.1 Evaluación de modelado virtual (con Solidworks)	70
4.2 Prueba de repetitividad.....	70
4.3 Presupuesto de Incertidumbre	75
CONCLUSIONES.....	77
BIBLIOGRAFIA.....	79

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

Dentro de nuestro país el giro primordial de las empresas radica en la manufactura, en la maquila y en la fabricación de productos, piezas y componentes que forman a su vez una pequeña parte de un gran engranaje dentro del giro de dicha organización, sin embargo, pocas son las empresas que se dedican al diseño, a buscar formas de planificación de productos que convivan en completa armonía con los medios ambientales, financieros y humanos.

De manera inicial existe la premisa social de que el diseño constituye un factor relevante dentro del giro manufacturero de cualquier organización, sin embargo la esencia del diseño no se ha adaptado en el contexto laboral y social de nuestro país, en un camino ascendente de lo general a lo particular, este trabajo se origina en el deseo de profundizar en el ámbito del diseño industrial, pero inevitablemente termina adhiriéndose al análisis del diseño.

La idea de enfocarse a un área de oportunidad, es la de potencializar los resultados, como en este caso el ramo de diseño. El contenido de este trabajo conlleva explícita e implícitamente los conceptos formados por entidades e investigadores de la materia que se añaden a las ideas contenidas en este trabajo.

Cierto es que el concepto de medición llena este trabajo, pero también es preciso decir que en el contexto del trabajo se plantean y utilizan disciplinas que complementan y más aún, fundamentan mucho del estudio de incertidumbre, desde el uso y aprecio de la ingeniería inversa, hasta las ventajas y limitantes de la estadística, pasando por las llamativas cualidades como es solidworks, solidedge y Catia, entre otros.

La perspectiva de este trabajo está rodeada de un ámbito académico. Es importante mencionar en la parte final de esta introducción, el presente trabajo adquiere relevancia al profundizar en conceptos tratados en varias de estas publicaciones, pero sobre todo

por el hecho de ocupar herramientas y sistemas (sobre todo computacionales) de apogeo en la actualidad.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Han quedado atrás los instrumentos convencionales? ¿Aún con las ventajas que ofrecen equipos de alta tecnología y nuevos métodos de medición puede haber condiciones específicas en que un lector antiguo tenga más que ofrecer que su semejante actual?

De una manera precisa puede decirse que el principal problema es la generación de valor de un componente, pero no solo es esto, más bien debe incluirse la coyuntura de generar un valor alrededor del valor de un componente, en decir, una parte del problema es el aspecto económico, otra parte es el aspecto tecnológico, pero también otra parte fundamental del problema es el aspecto de armonía de la creación de un componente con el entorno cercano.

Resumiendo este concepto, se piensa que como problema es el diseño de elementos y su potenciación. Componentes que una vez fabricados tienen poca posibilidad de ser manufacturados bajo sus mismas condiciones, productos que aun creados bajo las metodologías y normas adecuadas no cubren las expectativas de su elaboración.

1.2 JUSITIFICACIÓN

Las integrantes del diseño y la manufactura han permitido el desarrollo de productos inteligentes; se obtienen de forma rápida, eficiente y optima, el vínculo de la digitalización y los sistemas de CAD (Diseño artístico por computadora) es casi automático y se hace extensivo por ejemplo la información obtenida en una Maquina de Medición de Coordenadas (MMC). Es precisamente en este punto donde se encuentra una gran medida el sustento de este proyecto, ya que un área beneficiada de este desarrollo es la ingeniería inversa de partes y componentes. Sin embargo, generalmente en la práctica, la Metrología y la Ingeniería inversa operan de forma separada, tal vez el problema consista en el desconocimiento práctico que asocia a la metrología con los métodos de ingeniería inversa y obviamente al desconocimiento o poca actualización de los profesionistas involucrados.

La metrología y la ingeniería inversa son dos campos que en la actualidad deben operar de forma conjunta. Se puede decir que la metrología dentro de la ingeniería inversa, funge como un programa de investigación que tiene como principal dos objetivos, por un lado generar la información dimensional de los componentes y por otro, valida la configuración del duplicado.

En México, la ingeniería inversa formal y la metrología automatizada es poco practicada, para que la metrología automatizada y la ingeniería inversa encuentren un sustento matemático que refuerce el vínculo que en la práctica se distingue claramente se hace referencia al análisis de incertidumbre que inevitablemente se crea al momento de medir, o escanear en este caso cualquier componente.

Este análisis de incertidumbre es el anexo ideal que justifica que un modelo escaneado en 3D y llevado al ambiente CAD contiene ciertos parámetros de error necesarios de contemplar y calcular. Entrar en el estudio de análisis de incertidumbre metrológico es entrar al contexto de modelos matemáticos que relacione las funciones de propiedades físicas de componentes con parámetros de normalización y más aun de funcionamiento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVOS GENERAL

Analizar el impacto de utilizar la ingeniería inversa en el proceso de medición de elementos por medio de la obtención de la incertidumbre para establecer lineamientos de comportamiento en la manufactura de la flauta de corrugado.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definición del mensurando y de las condiciones y variables que afectan el proceso de medición.
- Metodología del proceso de medición del ambiente físico al ambiente CAD aplicado al mensurando.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 CLASIFICACIÓN DE LA METROLOGÍA

A través de la historia se comprueba que el progreso de los pueblos siempre estuvo relacionado con su progreso en las mediciones. La Metrología es la ciencia de las mediciones y éstas son una parte permanente e integrada de nuestro diario vivir que a menudo perdemos de vista. En la metrología se entrelazan la tradición y el cambio; los sistemas de medición reflejan las tradiciones de los pueblos pero al mismo tiempo estamos permanentemente buscando nuevos patrones y formas de medir como parte de nuestro progreso y evolución. Es por medio de diferentes aparatos e instrumentos de medición que se realizan pruebas y ensayos que permiten determinar la conformidad con las normas existentes de un producto o servicio; en cierta medida, esto permite asegurar la calidad de los productos y servicios que se ofrecen a los consumidores. Las actividades relacionadas con la Metrología dentro de un país son responsabilidad de una o varias instituciones autónomas o gubernamentales y, según sus funciones, se caracteriza como Metrología Científica, Legal o Industrial, dependiendo de su aplicación.

La primera está encargada de la investigación que conduce a la elaboración de patrones sobre bases científicas y promueve su reconocimiento y la equivalencia de éstos a nivel internacional. Las otras dos están relacionadas con la diseminación a nivel nacional de los patrones en el comercio y en la industria. La que se relaciona con las transacciones comerciales se denomina Metrología Legal y busca garantizar, a todo nivel, que el cliente que compra algo reciba la cantidad efectivamente pactada. La otra rama se denomina Metrología Industrial y se relaciona con la industria manufacturera; persigue

promover en la industria manufacturera y de servicios la competitividad a través de la permanente mejora de las mediciones que inciden en la calidad.

Actualmente, con la dinamización del comercio a nivel mundial, la Metrología adquiere mayor importancia y se hace más énfasis en la relación que existe entre ella y la calidad, entre las mediciones y el control de la calidad, la calibración, la acreditación de laboratorios, la trazabilidad y la certificación. La Metrología es el núcleo central básico que permite el ordenamiento de estas funciones y su operación coherente las ordena con el objetivo final de mejorar y garantizar la calidad de productos y servicios.

2.2 Definición del Mensurando

Mensurando (Magnitud particular sujeta a medición). El mensurando es el objeto, sustancia o fenómeno sobre el que se determina una característica específica. La especificación del mensurando puede requerir indicaciones acerca de magnitudes tales como tiempo, temperatura, etc., que ayudan a definir sin ambigüedad el mismo

De esta definición puede obtenerse un factor de consideración importante: un mensurando debe incluir los elementos que afectan al comportamiento de dicho mensurando, dicho de otro modo, la definición de mensurando no estará completa a menos que también se definan las variables de entrada que modifican el comportamiento del mensurando.

2.3 Error en la medición

Al hacer mediciones, las lecturas que se obtienen nunca son exactamente iguales, aun cuando las efectué la misma persona, sobre la misma pieza, con el mismo instrumento, el mismo método y en el mismo ambiente (repetibilidad). Los errores surgen debido a la imperfección de los sentidos, de los medios, de la observación, de las teorías que se aplican, de los aparatos de medición, de las condiciones ambientales y de otras muchas causas.

Conviene aclarar al mismo tiempo que la estimación final puede resultar también de varias concepciones del valor nominal, las cuales no siempre coinciden de manera exacta, por lo que es común el uso de un promedio como mejor valor logrado. Cabe establecer una diferencia entre el concepto de error con el de “equivocación” y el de “Discrepancia”. Para el concepto de equivocación debe atenderse nociones como descuido por parte del observador, mientras que la discrepancia se refiere a la diferencia entre dos o más mediciones de una cantidad y que a su vez se origina al no ser tan cuidadosos en las observaciones.

Una vez que se dejan las bases conceptuales del tema de error en la medición, se debe pasar a la clasificación de los mismos: Errores sistemáticos y los errores accidentales o aleatorios. Los primeros son objeto de estudio minucioso por su característica de aparecer recurrentemente una vez definido el mensurando. A su vez estos errores sistemáticos pueden dividirse por las siguientes causas:

- 1) Error Natural: ocasionados por fenómenos naturales, inherentes a cualquier proceso de medición.
- 2) Error por Instrumento: Todos los instrumentos de medición son hechos en condiciones no perfectas y por la misma imperfección de su construcción y ajuste se obtendrán lecturas no perfectas.
- 3) Errores de personas: este apartado se concentra en las limitaciones físicas, en los hábitos de observador, el método utilizado, etc.

2.4 Propagación de errores de computación.

Cuando se utiliza el equipo de computo y se obtienen mediciones ya sea directas o indirectas, se requiere conocer la magnitud del error (aritmético) que se obtiene de las operaciones realizadas, si bien es conocido que los parámetros de desviación estándar o desviación media son un buen parámetro, también se puede considerar el “error promedio” como un estimador incluyente. Si se tienen presentes las condiciones de probabilidad generales, entonces puede decirse del error promedio:

$$E_{sum} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 + \cdots E_n^2} \quad (1)$$

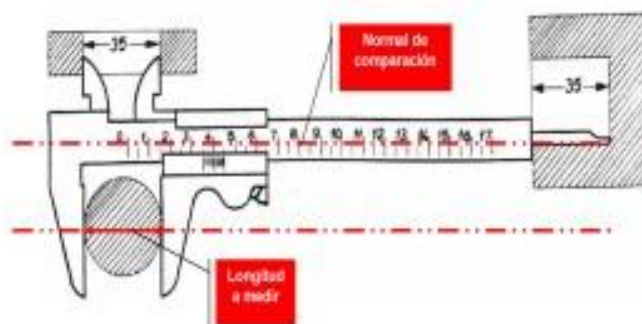
La razón para optar por la expresión anterior es por considerar que en computación la validez del máximo error se enfoca a los errores que de manera aleatoria se obtienen para la medición, dicho de otro modo, si se suman los errores se tendrá un error máximo al que comúnmente se tendría de manera aleatoria.

2.5 Tipos de Error

2.5.1 Error de Abbe

Tomando en cuenta experiencias de personal del CENAM, de sus documentos técnicos (Publicación Técnica CNM-INC-PT002) y de las especificaciones de instrumentos de medición. Se debe a la holgura que existe entre las superficies que recorren la escala del vernier; esta holgura produce error de lectura que puede cuantificarse sobre la línea de medición, la expresión del error de Abbe (E) es la siguiente:

$$E = A * \frac{Huelgo}{W} \quad (2)$$



Alineación de ejes en el error de Abbe

El error de Abbe establece alinear los ejes de medición del instrumento con un eje imaginario, si es preciso, de la pieza de la que se toma la lectura. Si se logra una alineación como la descrita puede hablarse de una exactitud máxima, sin embargo los verniers no poseen las condiciones para eliminar este error. A pesar de esto y sabiendo que el ángulo de inclinación es relativamente pequeño, entonces el error es despreciable, pero no así para el análisis de incertidumbre que no enfoca en la

acumulación de errores para generar un patrón de dudas que son necesarias cuantificar.

2.5.2 Error de Paralaje

Este error, en realidad es un efecto ocasionado en la lectura de un instrumento como el vernier por la separación (micrométrica) de las diferentes guías o escalas por las que un operador tiene posibilidad de equivocarse al tomar la lectura. Existe un error de paralaje porque no coinciden ambas escalas, cada una se encuentra en el frente de dos guías, de las cuales una es movable, sin embargo, traslada este efecto de manera directa a las puntas del vernier. Bien puede decidirse a este error como algo inevitable, porque la construcción de un vernier se fundamenta en un engranaje por el cual una guía principal; pero hay que considerar que así como el vernier “maximiza” desplazamientos para una lectura exacta, también puede amplificar los errores cometidos.

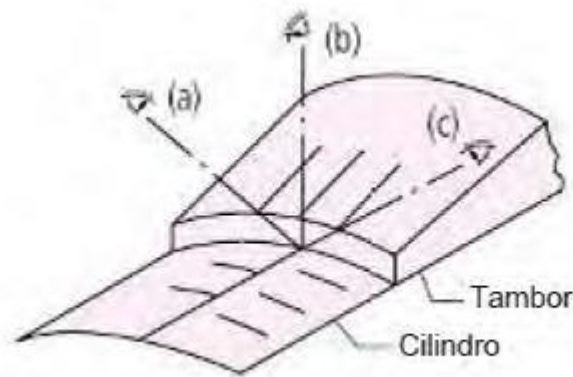
Puede verse en la figura que el problema de coincidencia es provocado por una graduación colocada en otro plano del eje de medición. En algunos estudios previos se trató con mejor detalle este efecto y se cuantifico por la expresión:

$$eP = \frac{\text{Desv. Optica} * \text{Separación de las escalas}}{\text{Distancia de enfoque}} \quad (3)$$

La desviación óptica y la distancia de enfoque indudablemente tiene que ver con la posición del operador, no es necesario decir que en términos de construcción de instrumentos de medición, resulta de particular importancia la exactitud de los valores de expresión.

Del mismo modo, si existe un error entre las mordazas del instrumento, el error de paralaje (eP) resulta de la diferencia por el desplazamiento que tiene el cursor del instrumento.

$$X = \frac{eP * \text{escala del vernier}}{\text{espacio entre marcas de la escala del vernier con el cursor}} \quad (4)$$



Desviación de escalas del vernier

En el error de paralaje la posición del ojo del operador es muy importante, por ejemplo cuando los dos ojos se utilizan para tomar la lectura, sabremos que por lo menos uno tendrá el efecto de paralaje. Ya sea que se corra la vista a la derecha o izquierda existe una variación que se relaciona con la altura de los planos no coincidentes dentro del mecanismo frontal del instrumento. Este tipo de error se puede minimizar si es que la altura que separa cada una de las escalas fija y móvil del calibrador reduce hasta incluso el caso hipotético de volverse cero.

Finalmente debe recordarse con influencia de la normatividad, sobre todo hablando de instrumentos; la norma ISO 6906 entre otras, presentan condiciones interesantes que rigen el valor de este tipo de error. La siguiente tabla es un útil comparativo de normas análogas referentes al vernier.

INTERNACIONAL	ALEMANIA	JAPÓN	MÉXICO	U.S.A.	BRITÁNICAS
		JIS B 7504			
ISO 3599			NMX	FED ESP	
	DIN 862				BS 887
ISO 6906		JIS B 7507	CH-54	GGG-	

- Valor máximo de 10 micrómetros
- Una distribución rectangular de raíz de 3
- Calcular la incertidumbre de paralelismo

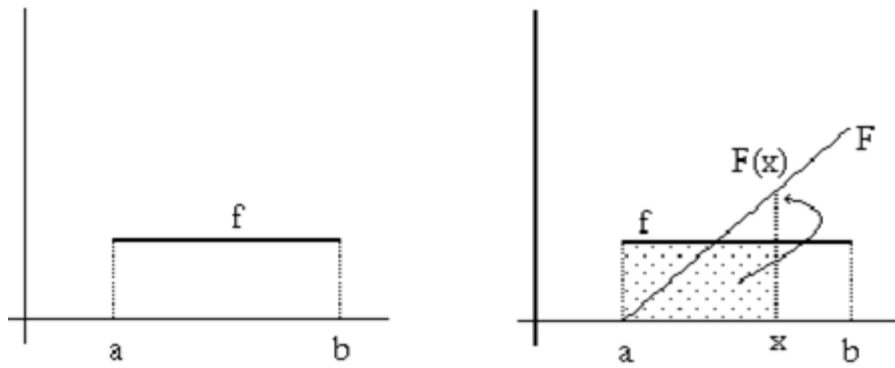
2.5.3 Error de Resolución

La resolución puede considerarse como una representación de las características de una distribución rectangular o uniforme por la forma en la que se dispersan sus valores a lo largo de un espacio de posibilidades, la característica fundamental será que cada valor posible de la solución tiene la misma probabilidad de ser seleccionado. Esta distribución al igual que las demás cumplen los requisitos de que la suma de las probabilidades sea igual a la unidad y además que dicha probabilidad se encuentre entre cero y uno.

La función de densidad se explica por la siguiente ecuación:

$$f(x) = \frac{1}{b-a} \text{ Si } a \leq x \leq b$$

Esto explica porque en un experimento aleatorio el valor de x comprendido en un límite cerrado de $[a, b]$ depende precisamente del espacio entre los límites y no necesariamente de la posición dentro de la escala numérica.



Función de densidad y de distribución uniforme $U(a,b)$

Si de esta grafica se obtuviera el área no bajo la curva precisamente sino bajo las características del intervalo entonces se reconocería la expresión:

$$\phi_x(t) = \int_a^b e^{itx} \frac{1}{b-a} dx = \frac{1}{b-a} \left[\frac{1}{it} e^{itx} \right]_a^b = \frac{e^{itb} - e^{ita}}{it(b-a)} \quad (6)$$

Siendo “a” y “b” los límites que acotan la posibilidad de que un elemento tenga otra opción de valor para realizar una probabilidad distinta a la de los demás valores.

2.6 Repetibilidad

Existen condiciones que auguran una toma de lectura con valores de muestra significativos con respecto a un valor llamado verdadero. Un instrumento puede desempeñarse bajo una incertidumbre apropiada considerando además del contexto y condiciones sobre las que se toma la lectura.

- La exactitud será el concepto por el cual se encuentra la diferencia entre el resultado medido y el valor nominal.
- La Repetibilidad que es la variación resultante de manera “natural” cuando un operario realiza varias mediciones de la misma pieza con el mismo instrumento.
- La reproducibilidad que es la variación que resulta de medir con el mismo instrumento la misma pieza, pero ejecutada la medición por varios operadores.
- La Estabilidad es una descompensación en los resultados cuando en las condiciones del instrumento han cambiado los momentos de toma de lecturas. La Linealidad es la diferencia de exactitudes del valor promedio de una muestra.

El valor de Repetibilidad nos dará la pauta de la variación del instrumento. Este paso se fundamenta en la obtención del rango (valor máximo – valor mínimo) y su producto con el factor de significancia del 99.73% aproximadamente, que a su vez se sustenta en las áreas bajo la curva normal para el estudio de probabilidades. Interviene el número de operadores y una tolerancia que puede obtenerse bajo los conceptos de incertidumbre tipo B, es decir, no de manera estadística, si no en la practicidad del equipo.

2.6.1 Formula de Repetibilidad

El valor que representa a la Repetibilidad se obtiene del factor del rango medio considerando una constante que cubre valores representativos del 99.73% y que equivale a 3.14. Se considera además la tolerancia específica:

$$\text{Repetibilidad} = \frac{3.14 * \bar{R}}{\text{Tolerancia}} \times 100 \text{ para expresar el resultado en \%} \quad (7)$$

Aun cuando no es exclusivo que se realice un estudio de reproducibilidad, en términos de análisis estadístico si es “costumbre” adjuntar los resultados de la reproducibilidad según la expresión siguiente:

$$\text{Reproducibilidad} = \frac{100}{\text{Tolerancia}} * \left[\sqrt{3.14^2 - \frac{3.14^2}{\text{No.lecturas por operador}}} \right] \quad (8)$$

También puede expresarse en porcentaje y debe considerarse que un valor de repetitividad mayor al de reproducibilidad indicara una desviación en el instrumento que puede encontrar solución con ajuste y calibración o bien obteniendo otro instrumento con capacidades y características que mejor se adapten al mensurando.

2.7 Elección del instrumento de medición

Las condiciones de medición dependen en gran medida del instrumento de medición seleccionado, no todos son adecuados para todas las condiciones, si se intenta medir un diámetro interior de un cilindro no sería adecuado elegir un micrómetro o un medidor de alturas. La exactitud no solo viene de la resolución del equipo sino también del equipo adecuado. Una aplicación específica representa también maniobrar un instrumento específico, cada uno de los cuales tiene una superficie de apoyo específica, un intervalo de calibración pre-establecido, una resistencia acorde al desempeño, etc. Si se habla por ejemplo de tolerancia, para una empresa como Mitutoyo, el instrumento debe tener una razón de proporción ideal de 25 a 1 con relación a la legibilidad e incluso a la división mínima del instrumento. Una razón de 5 a 1 con relación a la legibilidad e incluso a la división mínima del instrumento. Una razón de 5 a 1 también está en el límite de lo aceptable pero debe recordarse que este no es el único criterio, a fin de cuentas ya se ha mencionado la relevancia del análisis de Repetibilidad.

Cuando se plantea el criterio de Repetibilidad como opción para elegir un instrumento se formula un planteamiento que tiene que ver con el porcentaje que se le asigna a la Repetibilidad. Un valor de porcentaje más elevado, digamos 10% que es común en los análisis de R&R no es recomendable porque el error sistemático que se produce en el sistema de medición sería considerablemente riesgoso.

Si se elige un instrumento de entre varios deben de añadirse otros factores como:

- Factores financieros del instrumento y las piezas a medir
- Elementos del proceso productivo, tales como las repeticiones de lectura y el desgaste y frecuencia de calibración
- La cercanía del valor verdadero y el valor medido; un instrumento que tiene graduación de mm no será buen medio para lograr las micro pulgadas.

2.8 Estimación de Incertidumbre

El tema fundamental del presente trabajo es determinar la incertidumbre de la medición bajo ciertas condiciones. La incertidumbre de una medición está asociada generalmente a su calidad. La incertidumbre de una medición es la duda que existe respecto al resultado de dicha medición. Usted puede pensar que las reglas graduadas están bien hechas, que los relojes y los termómetros deben ser veraces y dar resultados correctos. Sin embargo, en toda medición, aún en las más cuidadosas, existe siempre un margen de duda. En lenguaje común, esto se puede expresar como “más o menos”, por ejemplo, al comprar o vender un tramo de una tela de dos metros, “más o menos” un centímetro.

Dado que siempre existe un margen de duda en cualquier medición, necesitamos conocer “¿cuán grande es ese margen?” Por esto se necesitan dos números para cuantificar una incertidumbre. Uno es el ancho de este margen, llamado intervalo, el otro es el nivel de confianza, el cual establece qué tan seguros estamos del “valor verdadero” dentro de ese margen.

Este intervalo puede ser tan grande o tan pequeño como se tenga cuidado de formular el modelo que rija el cálculo de la incertidumbre, dicho de otro modo, no es que existan elementos que hagan más grande el valor de incertidumbre, más bien existen factores que se consideran para calcular la incertidumbre y aunque pareciera ser beneficio no contemplar algunos para disminuir, lo cierto es que es preferible incluir los factores que afectan la medición que no incluirlos. Pueden mencionarse como elementos de influencia de incertidumbre el considerar los siguientes:

- Los elementos ambientales
- La capacidad de resolución de los instrumentos
- La calibración de equipo de medición
- La exactitud del patrón de referencia
- El modelado y los métodos de medición
- La caracterización del modelado y su grado de conocimiento

Error Vs Incertidumbre.- Es importante diferenciar los términos error e incertidumbre.

Error: Es la diferencia entre un valor medido y el valor convencionalmente verdadero, del objeto que se está midiendo.

Incertidumbre: Es la cuantificación de la duda que se tiene sobre el resultado de una medición. Cuando sea posible, se trata de corregir los errores conocidos por ejemplo, aplicando las correcciones indicadas en los certificados de calibración. Pero cualquier error del cual no se conozca su valor, es una fuente de incertidumbre.

2.9 Tipos de Incertidumbre

2.9.1 Incertidumbre tipo A

La incertidumbre tipo A se realiza con una marcada prioridad estadística; a partir de lecturas que cumplen con las condiciones de Repetibilidad ideales se estiman variaciones de lecturas con respecto al valor verdadero. Debe tenerse cuidado en la forma de obtención de “mejores valores”. Aun así el mejor estimado de una serie de datos se puede calcular con la expresión:

$$X_i = \bar{q} = \frac{1}{n} * \sum_j^n q_j \quad (9)$$

Si existe una característica que relacione la incertidumbre tipo A es la estimación de varianzas que a su vez realicen el escrutinio de los errores aleatorios que se reflejan en la dispersión de las lecturas con el valor medio.

De la dispersión se obtiene la diferencia de los cuadrados para encontrar la desviación estándar a partir de la raíz de la varianza.

$$s(q) = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_j^n (q_j - \bar{q})^2} \quad (10)$$

Finalmente cuando se calcula la desviación estándar experimental se obtiene el valor de lo que el contexto de este trabajo se conocerá como INCERTIDUMBRE U (xi), aunque en particular se estará hablando de la incertidumbre tipo A:

$$U(xi) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2} \quad (11)$$

La incertidumbre tipo A tiene un factor de corrección cuando por la cantidad de datos se considera que la distribución que la representa deja de ser una normal y se comporta como una distribución T-student. Existen distintos valores según esta distribución que se interpretan según el nivel de confianza deseado, típicamente el 68.3%, el 95% y el 99.7% son algunos de los niveles de confianza utilizados.

2.9.2 Incertidumbre tipo B

El uso apropiado de la incertidumbre tipo B está basado sobre todo en la experiencia y el conocimiento general, y puede ser tan confiable como la incertidumbre tipo A. Existen varias formas en que se presenta la incertidumbre tipo B cuando el dato se toma de tablas, manuales o especificaciones del fabricante. Por ejemplo, se puede establecer que la incertidumbre dada es un cierto múltiplo de la desviación estándar. En este caso, la incertidumbre estándar es la desviación estándar dividida entre el multiplicador, y la varianza estimada es el cuadrado del número resultante. Otra manera de especificar la incertidumbre es dar un intervalo que tiene un nivel de confianza de 90, 95 ó 99 por ciento. Si no se dice explícitamente, se supone que se utilizó una distribución normal para dar la incertidumbre, y se puede recuperar la incertidumbre estándar al dividir el valor dado entre el factor apropiado dentro de la distribución normal. Estos factores son 1.64, 1.96 y 2.58, respectivamente, para los niveles de confianza citados antes.

Esta incertidumbre está relacionada con la distribución probabilística de la cual se extrae el dato representativo y se refleja en la expresión.

$$U(x) = \frac{a}{\sqrt{\text{constante de distribución}}} \quad (12)$$

Existen 3 distribuciones típicas por su cantidad de aparición en la realidad de las operaciones:

- Distribución normal
- Distribución rectangular (misma probabilidad de ser elegido)
- Distribución triangular

Otro factor relevante es el nivel de confianza, el cual queda definido por “espacio cubierto” al aumentar o disminuir el nivel de confianza de 3 sigma o bien sigma. De esta forma se enumeran los casos de distribución rectangular y triangular respectivamente.

$$U(x) = \frac{a}{\sqrt{3}} \text{ Tipo Rectangular} \quad (13)$$

$$U(x) = \frac{a}{\sqrt{3}} \text{ Tipo Triangular} \quad (14)$$

2.9.3 Incertidumbre Combinada

Incertidumbre estándar del resultado y de una medición cuando el resultado se obtiene a partir de los valores de otras cantidades, igual a la raíz cuadrada de la suma de términos, siendo los términos las variancias o covariancias de estas otras cantidades ponderadas de acuerdo a como los resultados de la medición varían con estas cantidades.

La incertidumbre combinada se determina por el producto de la incertidumbre particular $U(x)$ y su coeficiente de sensibilidad $C(i)$.

El efecto de esta relación determina la cuantificación de la variabilidad magnitud-mensurando. El comportamiento del coeficiente de sensibilidad es válido aun cuando se sustituya el intervalo de variabilidad por el factor de incertidumbre, ya que es el caso que interesa estudiar. La variabilidad, no obstante, se determina al evaluar la derivada parcial de las variables involucradas. En la incertidumbre combinada y de acuerdo a lo recientemente mencionado, se utiliza la “ley de propagación de errores” bajo el razonamiento de la sumatoria de las contribuciones de cada incertidumbre.

$$U_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\delta f}{\delta x} \right)^2 * U^2(xi) \quad (15)$$

De esta expresión puede suponerse que una función con magnitud de entrada en las cuales las derivadas parciales tomen el valor de la unidad, de esta forma la expresión se reduce a una forma más sencilla:

$$U_c^2(y) = \sum_{i=1}^N U^2(xi) \quad (16)$$

Si existe el deseo de plantear un análisis que detalle el impacto de cada una de las incertidumbres en base a su relación de “sensibilidad”, es decir, reformulando la ecuación de la ley de propagación de errores de manera que el coeficiente de sensibilidad sea igual para los demás factores de incertidumbre:

$$U_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2} \quad (17)$$

2.9.4 Incertidumbre Expandida

Una determinación rigurosa de la incertidumbre expandida de la medición, correspondiente a un nivel definido de confianza, requiere la consideración de los grados de libertad. Este concepto implica aumentar los valores de incertidumbre, cuando fueron obtenidos con base en informaciones limitadas. Tradicionalmente existen valores cotidianamente utilizados; k=2 para 95.5% o k=3 para 99.7%.

Si a fin de cuentas se desea una probabilidad que deje menos dudas, es decir menos incertidumbre será necesario adoptar un factor de cobertura K, quedando la expresión como:

$$U = k * u_c \quad (18)$$

Más de un experto en el tema recomienda el factor de cobertura de k=2 que es aceptado internacionalmente. Si es necesario ya sea por las características de la distribución, que no se aproxima a la normal estándar utilizar algún otro tipo de distribución, debe tenerse en mente la distribución t student y los grados de libertad que parametrizan esta distribución. Si este es el caso, el factor de cobertura k se convierte

en el factor de $t_p(V)$, que bajo el mismo razonamiento se entiende como el factor obtenido de tablas y que coteja la probabilidad con los grados de libertad quedando la expresión de incertidumbre expandida como:

$$U = t_p(v) * u_c \quad (19)$$

2.10 Ingeniería Inversa

La ingeniería inversa tiene la misión de desentrañar los misterios y secretos de los sistemas en uso. Consiste principalmente en recuperar el diseño de una aplicación a partir del código. Esto se realiza principalmente mediante herramientas que extraen información de los datos, procedimientos y arquitectura del sistema existente. Es aplicable a sistemas con las siguientes características:

- Documentación inexistente o totalmente obsoleta.
- Programación en bloque de códigos muy grandes y/o sin estructurar.
- Inexistencia de documentación interna en los programas, o bien ésta es incomprensible o está desfasada.
- La aplicación cubre gran parte de los requisitos y del rendimiento esperado.
- La aplicación está sujeta a cambios frecuentes, que pueden afectar a parte del diseño.
- Se prevé que la aplicación pueda tener aún larga vida.

La ingeniería inversa puede extraer información de diseño del código fuente, pero el nivel de abstracción, la completitud de la documentación, el grado con el cual trabajan al mismo tiempo las herramientas y el analista humano, y la direccionalidad del proceso son sumamente variables.

¿La ingeniería Inversa tiene alguna metodología?

En realidad el proceso de ingeniería inversa, resulta en una abstracción de la información que necesitamos reclutar, presenta la forma en que funcionan los sistemas en uso, aunque no necesariamente crea el conocimiento de dichos sistemas. En el

estudio de sistemas computacionales, es muy conocido el proceso de obtención de información por esta técnica, conllevan elementos como:

- Nivel de abstracción.
- Nivel de detalle.
- Interrelación, Interactividad e Interfaz del sistema de ingeniería Inversa.
- Direccionalidad.

Si el corazón de la ingeniería Inversa en el contexto computacional se encuentra en la extracción de abstracción, en la metrología no está del todo alejado ya que el ingeniero debe lograr a partir de la evaluación del funcionamiento de un dispositivo viejo que es objeto de estudio, la optimización del dispositivo en términos de funcionalidad por no decir más áreas de mejoras.

La Ingeniería Inversa o Reingeniería, es por lo tanto, proceso de duplicar informáticamente una pieza, componente, conjunto o entorno, sin la ayuda de planos, documentación o modelos CAD auxiliares. Se parte siempre de un modelo físico y se usan métodos de ingeniería de medida, análisis y diseño para finalmente obtener una réplica idéntica de dicha realidad física, es decir, a partir de un modelo físico obtendríamos el CAD de la pieza.

Los sistemas de digitalización se pueden clasificar en dos grandes grupos:

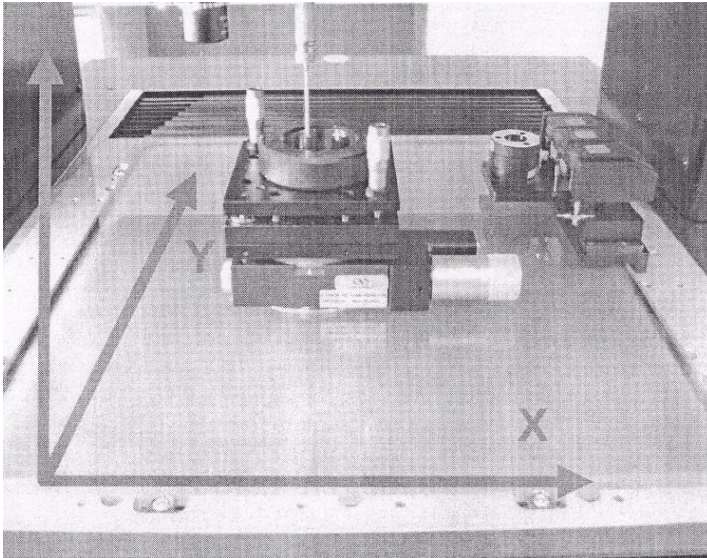
- Sistemas en contacto: Copiadoras y palpado mecánico.
- Sistemas sin contacto: Sistemas Laser, luz blanca y fotogrametría.

2.10.1 Sistemas con contacto

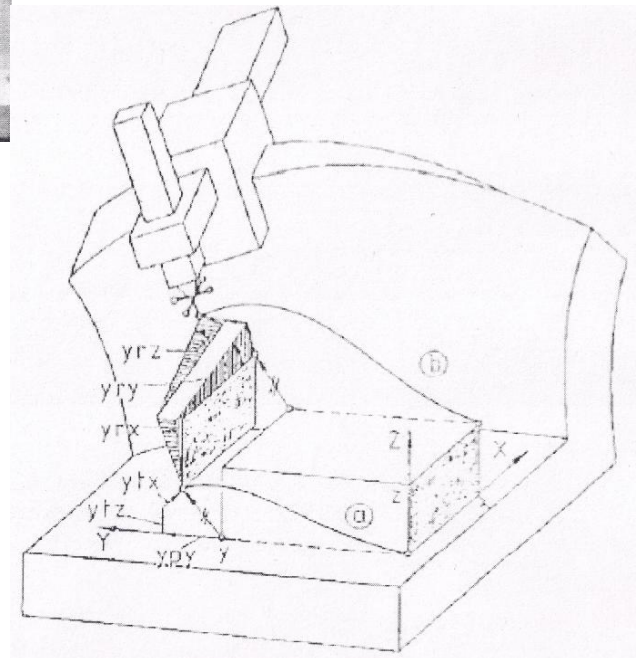
Aquí nos referimos únicamente a los palpadores dejando a un lado las copiadoras ya que el ritmo de trabajo de estos es mucho más eficaz. Estos tienen la ventaja de ser portátiles y muy precisos (algunos fabricantes llegan a la ± 0.005 mm de precisión). La toma de puntos es forma manual y son especialmente diseñados para la metodología y control de calidad. Además permiten el reconocimiento de superficies simples (esferas, conos, cilindros, planos) de forma muy rápida, que es donde patinan los sistemas ópticos.

2.10.2 Sistemas sin contacto

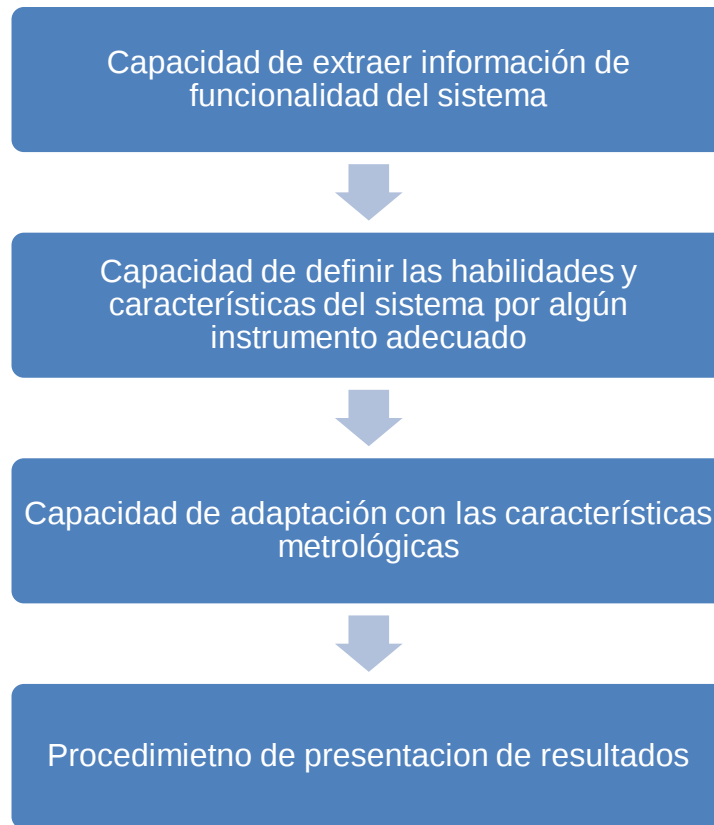
En general todos los sistemas ópticos se basan en el principio de la triangulación para obtener las mediciones. Podría pensarse que la única aplicación de la Ingeniería Inversa es el copiado de piezas, sin embargo va mucho más allá que la simple duplicación de objetos físicos. Podemos querer una pieza muy parecida al modelo físico que tenemos pero con alguna modificación. También podemos necesitar el croquis de una pieza mecanizada y luego poder parametrizarla, es decir relacionar las dimensiones de la pieza. Como ejemplo de un sistema particularmente típico industrialmente hablando, podemos citar una CMM (maquina de medición de coordenadas), y sobre el razonamiento del funcionamiento de una maquina como esta podemos vislumbrar el funcionamiento de la metodología de ingeniería inversa.



Ejes de avance para las máquinas CMM



Metodología propuesta de ingeniería inversa



2.10.3 Modelos Virtuales con uso de CAD

Una función ideal que justifica la existencia y uso de la computadora es la de resolver con toda prontitud, oportunidad y exactitud las preguntas básicas de cualquier sistema; ¿Se romperá la estructura de cemento? ¿Resistirá el recubrimiento metálico?, etc., son algunas de las preguntas para las que la ciencia computacional puede presentar la solución a partir de sus diversas herramientas.

Cuando simulamos el comportamiento físico de cualquier sistema de uso por medio de un paquete computacional encontraremos un sin número de ventajas relevantes:

- Ensayo de modelos a un coste mínimo.
- Representación fiel del sistema sin exposición a accidentes.
- Exactitud de resultados en un tiempo mínimo.
- Control de condiciones y factores de influencia sobre el sistema de estudio.
- Experimentación relativamente sencilla de duplicación y en tiempo mínimo.

Existen varios software que auxilian en el diseño y simulación del comportamiento de elementos y sistemas mecánicos, las características de uso tienen que ver con el alcance de cada uno, de la potencia de trabajo, de la representación de la realidad que tenga el sistema, etc.

CAPITULO 3

ANALISIS DE INCERTIDUMBRE

3.1 Definición del Mensurando

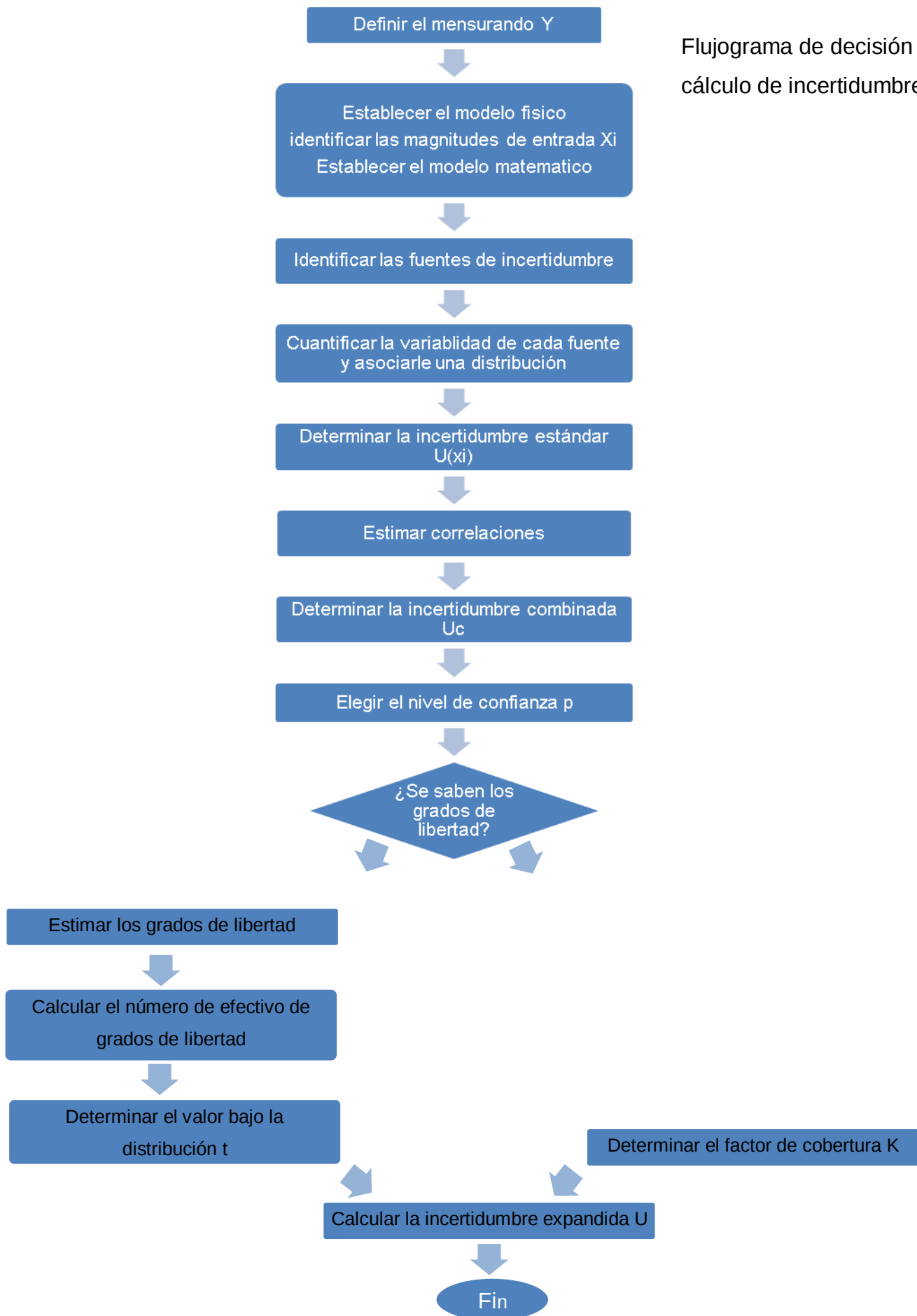
Es tal vez la definición del mesurado uno de los tres temas principales del presente documento, se reviste de importancia porque en la experiencia del autor de este trabajo, un proyecto bien planeado de inicio, tiene un 80% más posibilidades de llegar a buen término, y es precisamente una adecuada definición del mensurando lo que nos indicara exactamente la magnitud que se desea medir.

¿Qué pasaría si se elige un mensurando equivocado? Pensar en medir una magnitud que ni representa ni obtiene los fines del estudio seria trabajar en vano.

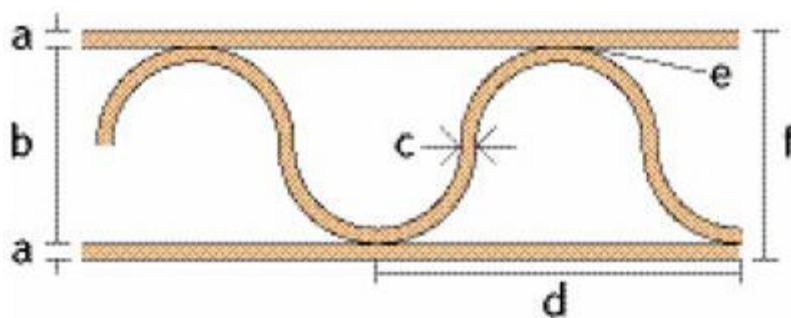
Se propone como mensurando el error de lectura de un calibrador digital con respecto al uso de equipo de un scanner 3D; a su vez se puede definir el error como la diferencia entre la longitud que se obtiene entre “valles” de una muestra de cartón corrugado y la lectura tomada por el uso del scanner 3D para esa misma muestra de corrugado, todo con relación al valor nominal para una flauta tipo C.

El análisis de incertidumbre se planteó por la metodología estructurada de acuerdo a las variables que pueden intervenir, cabe mencionar la postura del CENAM que promueve documentos técnicos referentes a la evaluación de incertidumbres. Debe rescatarse para un estudio posterior la definición de fuentes de incertidumbre, en este trabajo se le da particular seguimiento por las características del material y su gran influencia sobre los resultados.

Flujograma de decisión del
cálculo de incertidumbre



La definición del mensurando no puede estar completa sin tomar en cuenta las fuentes de incertidumbre que afectaron la obtención de lecturas, estos elementos generan factores de corrección que aportan variables de decisión y que se reflejaron en el modelo matemático. También existen valores nominales que rigen el dictamen de una lectura que se valoró como errónea. Para la definición del mensurando fue necesario el valor estándar que rige en el giro especializado del corrugado, por las características del papel y del proceso se presenta la siguiente figura obtenida de los estudios del IMPEE (Instituto Mexicano de Profesionales del Embalaje).



Constitución de la flauta de corrugado

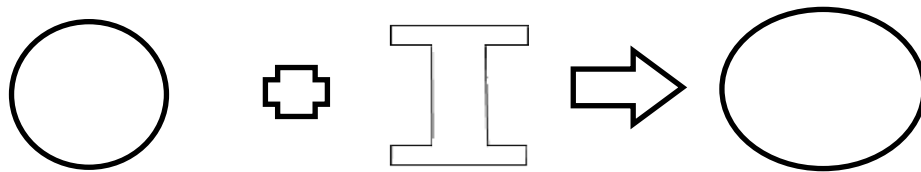
- a. Liner (0,334 mm)
- b. Medium (3,97 mm)
- c. Grosor (0,228mm)
- d. Longitud Flauta (7,25 mm)
- e. Adhesivo (goma)
- f. Altura general de flauta C (4 mm)

Para el estudio de la flauta C, los valores mostrados se complementaron con el número de flautas por metro lineal, siendo de 138, lo cual daría el valor nominal de 7,2463 mm de distancia entre flautas. Si este valor cambia puede indicar una inconformidad en términos productivos ya que el desarrollo del material a gran escala se modifica de manera exponencial, es decir, un valor más pequeño de los 7,25 mm indicaría un mayor número de flautas por metro lineal lo cual en el contexto de resistencia es algo ideal,

pero así desde el punto de vista del consumo de materia prima ya que representaría un mayor gasto de insumos.

La definición del mensurando está ligado con el sentido práctico que guió los primeros pasos de este estudio. Cotejar la resistencia del cartón corrugado con su composición tiene sentido funcional, sin embargo debe observarse primero la estructura del material, ya que de ello depende el posterior modelado matemático para realizar el análisis de incertidumbre.

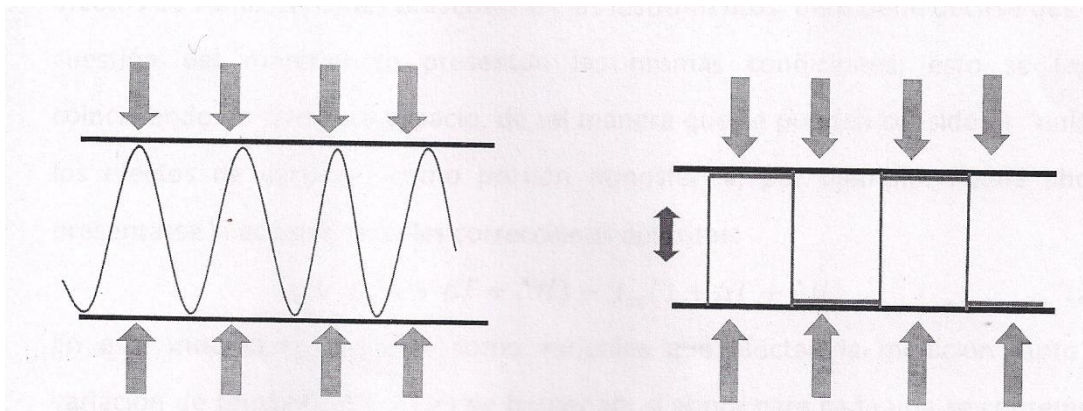
La estructura del cartón corrugado se conforma a base de “flautas” hechas de papel (para el estudio se tomó papel reciclado) semi-kraft que reúnen 2 elementos estructurales característicos por su gran resistencia de manera combinada: una forma de ovalo y una forma de columna, el resultado es un material con gran resistencia a la estiba siendo más ligero y económico, la clave es la estructura.



Constitución de la estructura general del corrugado

Es de conocimiento general la resistencia de un huevo cuando se quiere quebrar tomándolo de los dos extremos, también es conocido la seguridad de las columnas utilizadas como soportes en estructuras arquitectónicas; combinar ambas formas nos dan una estructura poderosa, cuando en una flauta se aplica una fuerza, entonces la estructura es su principal defensa antes que el grosor o la composición de su material.

Aplicación de esfuerzo sobre la estructura del corrugado



Existen 3 factores que intervienen en la correcta formación de esta estructura:

- Humedad
- Transferencia de calor (temperatura)
- Presión aplicada

Cuando se combinan adecuadamente los tres elementos anteriores se crea en el cartón corrugado un nuevo elemento fundamental para la resistencia: LA MEMORIA DEL MATERIAL; es esta “memoria” la que causa que una flauta después de ser expuesta a un esfuerzo de compresión vuelva a su estado original. La memoria del corrugado permite servir como soporte y empaque ideal por su ligereza y facilidad de maniobra.

3.2 Modelo Matemático

Sin el mensurando es el valor de diferencia de la longitud de la flauta tomado con 2 instrumentos distintos, cada uno con diferentes capacidades, entonces se propuso un modelo lineal que relacione a cada elemento. La posterior incertidumbre calculada no tuvo que ver con el alcance tecnológico porque a fin de cuentas debe recordarse que en cada medición siempre existirá un mínimo de duda o bien llamada para nuestro caso como incertidumbre.

El error será la diferencia de longitudes de flauta del vernier digital versus la longitud obtenida por el scanner de 3D.

$$\varepsilon = l_v - l_{sc} \quad (20)$$

Sin embargo se deben considerar factores de corrección a la ecuación por los efectos de varias variables presentes en los instrumentos, pero debe decirse que en cuestión del material se presenta las mismas condiciones; esto se logra coincidiendo en tiempo y espacio, de tal manera que se puedan considerar “nulos” los efectos de variables como presión atmosférica, por ejemplo. Puede ahora presentarse la ecuación con las correcciones descritas:

$$\varepsilon = l_v(1 + \Delta T + \Delta H) - l_{sc}(1 + \Delta T + \Delta H) \quad (21)$$

En este modelo se presume como variables que afectan la medición tanto la variación de temperatura como de humedad; si ahora para cada una se contempla en el modelo con un coeficiente de expansión expresión se obtiene.

$$\varepsilon = l_v(1 + \alpha\Delta T + \Delta H) - l_{sc}(\alpha\Delta T + \Delta H) \quad (22)$$

Si α =coeficiente de expansión térmica por los efectos de la temperatura tanto en el sensor del scanner como en el vernier y bajo la premisa de que en realidad el estado ideal de $l_v \sim l_{sc}$ cuando los valores de otras fuentes de influencia es cero, es decir, las longitudes son iguales si las condiciones fueran exactamente e idealmente iguales. La expresión quedo entonces como:

$$\varepsilon = l_v + a_v\Delta T_v l_v + \Delta H l_v - l_{sc} - \alpha_{sc}\Delta T_{sc} l_{sc} - \Delta H l_{sc} \quad (23)$$

Se formuló un “atajo” para agrupar de manera más simple la ecuación considerando las diferencias entre las variables influenciadas por el factor de temperatura y humedad.

$$\delta\alpha = \alpha_v - \alpha_{sc}$$

$$\delta T = \Delta T_v - \Delta T_{sc}$$

$$\delta H = \Delta H_v - \Delta H_{sc}$$

Por sustitución de términos en la ecuación original:

$$\varepsilon = l_v + a_v\delta T l_v + \delta H(l_v - l_{sc}) - l_{sc} - \delta\alpha\Delta T_{sc} l_{sc} \quad (24)$$

La ecuación anterior incluye los factores que involucran en una relación las fuentes de incertidumbre sobre el proceso de la cuantificación de incertidumbre. No obstante hace falta encontrar los coeficientes de sensibilidad para cada uno de los elementos, debe recordarse que esta cuantificación resulta de la derivada parcial que asegura que cada coeficiente de sensibilidad afecta a la magnitud por lo cual fue incluida.

$$\frac{\partial}{\partial l_v} \varepsilon = 1 + \alpha_v\delta T + \delta H \quad (25)$$

$$\frac{\partial}{\partial l_{sc}} \varepsilon = -1 - \delta\alpha\Delta T_{sc} - \delta H \quad (26)$$

$$\frac{\partial}{\partial \alpha_v} \varepsilon = \delta T l_v \quad (27)$$

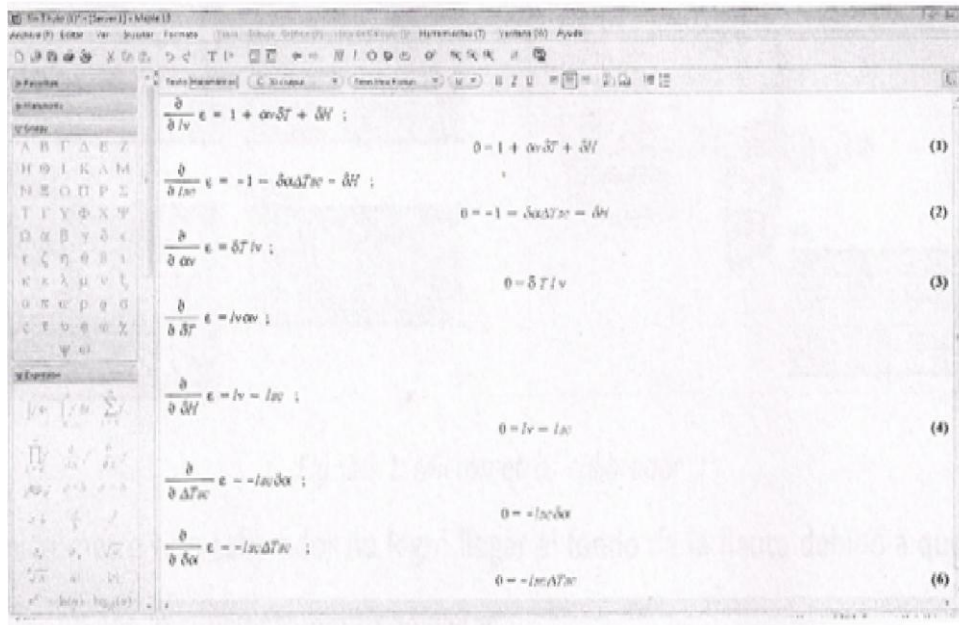
$$\frac{\partial}{\partial \delta T} \varepsilon = l_v \alpha_v \quad (28)$$

$$\frac{\partial}{\partial SH} \varepsilon = lv - lsc \quad (29)$$

$$\frac{\partial}{\partial \Delta Tsc} \varepsilon = -lsc\delta\alpha \quad (30)$$

$$\frac{\partial}{\partial \delta\alpha} \varepsilon = -lsc\Delta Tsc \quad (31)$$

La formulación y solución aun cuando son cálculos sencillos se pueden realizar en cualquier software matemático, a continuación se muestra el ingreso de datos al paquete “maple” para la solución de ecuaciones:



Representación de ecuaciones en el software Maple

Finalmente el modelo se eleva a una función cuadrática de acuerdo a la expresión original de incertidumbre.

3.3 Elección de Instrumentos de medición.

La clasificación de instrumentos permite resolver las necesidades de mediciones, elegir al instrumento correcto, elimina errores tales como de ajuste de pieza, de cantidad de lecturas, de precisión y posición, etc. La forma de flauta de corrugado tiene la característica forma de un “valle” donde el punto más bajo es simétrico al desarrollo de la flauta. Presenta complicación para tomar lectura debido al punto de sujeción del instrumento, al alcance de las puntas del instrumento y obviamente a la exactitud. Existió un proceso de búsqueda con los proveedores comerciales de mayor proyección

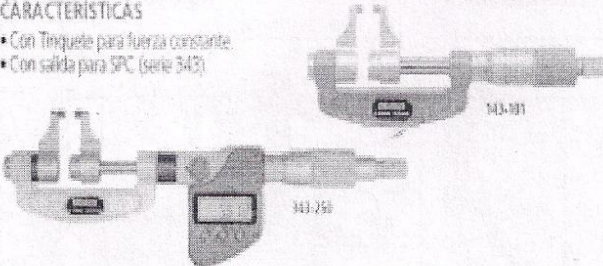
en el centro del país; el simposio organizado por el CENAM en octubre de 2010 fue un punto de contacto con los equipos más adecuados al proyecto. Se presenta ahora una parte del catálogo electrónico que resulto de mayor apoyo a la realización de este trabajo con sus diferentes opciones, por lo menos las más interesantes para este trabajo.

Micrómetros Tipo Calibrador

SERIE 343, 143

CARACTERÍSTICAS

- Con Tinquete para fuerza constante.
- Con salida para SPC (serie 343)



ESPECIFICACIONES

mm Modelo digital			
Intervalo	Código No.	Error máximo	Precio USD
0 - 25mm	343-250	a 0.001 mm	\$668.00
25 - 50mm	343-251	a 0.001 mm	\$669.00
50 - 75mm	343-252	a 0.001 mm	\$730.00
75 - 100mm	343-253	a 0.001 mm	\$774.00

mm Modelo analógico			
Intervalo	Código No.	Error máximo	Precio USD
0 - 25mm	143-101	a 0.002 mm	\$336.00
25 - 50mm	143-102	a 0.002 mm	\$353.00
50 - 75mm	143-103	a 0.002 mm	\$378.00
75 - 100mm	143-104	a 0.002 mm	\$408.00
100 - 125mm	143-105	a 0.002 mm	\$446.00

Modelos con un intervalo hasta 200 mm están disponibles.

Modelo digital

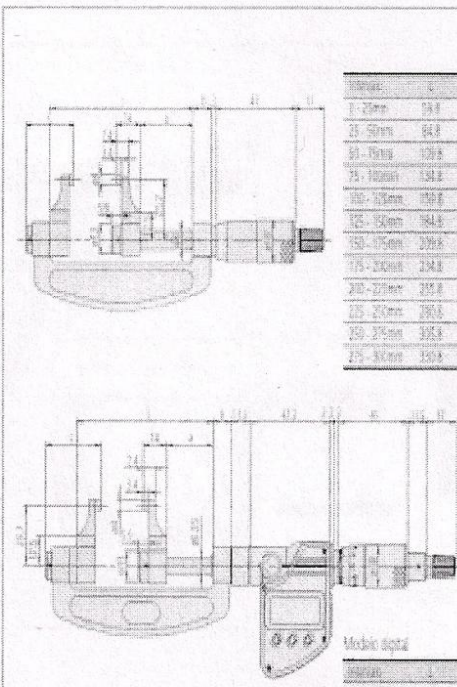
Intervalo	Código No.	Error máximo	Precio USD
0 - 1 pulg	343-350	a 0.0015 pulg	\$693.00
1 - 2 pulg	343-351	a 0.0015 pulg	\$695.00
2 - 3 pulg	343-352	a 0.0015 pulg	\$736.00
3 - 4 pulg	343-353	a 0.0015 pulg	\$774.00

Modelo analógico

Intervalo	Código No.	Error máximo	Precio USD
0 - 1 pulg	143-121	a 0.002 pulg	\$330.00
1 - 2 pulg	143-122	a 0.002 pulg	\$347.00

Modelos con un intervalo hasta 2 pulg están disponibles.

DIMENSIONES



Intervalo	A	B	C	D	E
0 - 25mm	58.8	27.8	10.0	28.6	
25 - 50mm	64.8	33.8	10.0	29.5	
50 - 75mm	70.8	39.8	10.0	30.5	
75 - 100mm	76.8	45.8	10.0	31.6	
100 - 125mm	82.8	51.8	10.0	32.6	
125 - 150mm	88.8	57.8	10.0	33.6	
150 - 175mm	94.8	63.8	10.0	34.6	
175 - 200mm	100.8	69.8	10.0	35.6	
200 - 225mm	106.8	75.8	14.0	36.6	
225 - 250mm	112.8	81.8	14.0	37.6	
250 - 275mm	118.8	87.8	14.0	38.6	
275 - 300mm	124.8	93.8	14.0	39.6	

Modelo digital

Intervalo	A	B	C	D	E
0 - 25mm	53.3	27.3	10.0	32.3	
25 - 50mm	59.3	33.3	10.0	33.3	
50 - 75mm	65.3	39.3	10.0	34.3	
75 - 100mm	71.3	45.3	10.0	35.3	

Micrómetros-Calibrador

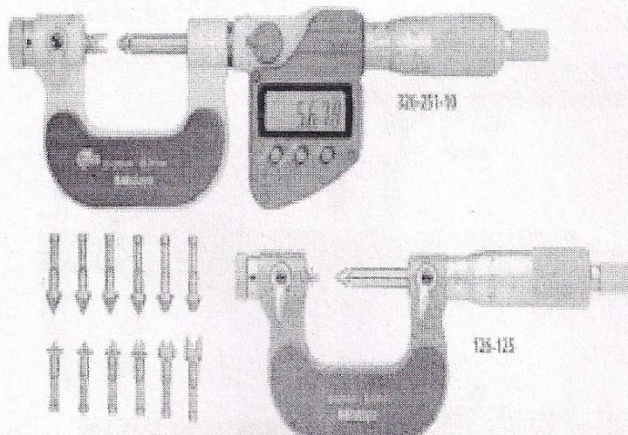
El micrómetro tipo calibrador no logro llegar al fondo de la flauta debido a que sus puntas no son lo suficientemente delgadas.

Micrómetros para Roscas

SERIE 326, 126 — Tipo Punta de Tope-Husillo Intercambiables

CARACTERÍSTICAS

- Protección IP65 polivalagua (serie 326).
- Topo en V de 60° a 55° y husillo cónico (intercambiable) son opcionales, están hechos de acero especial de alto grado, endurecido y rectificado con exactitud.
- Con Trinquete para fuerza constante.
- Con salida para SPC (serie 326).

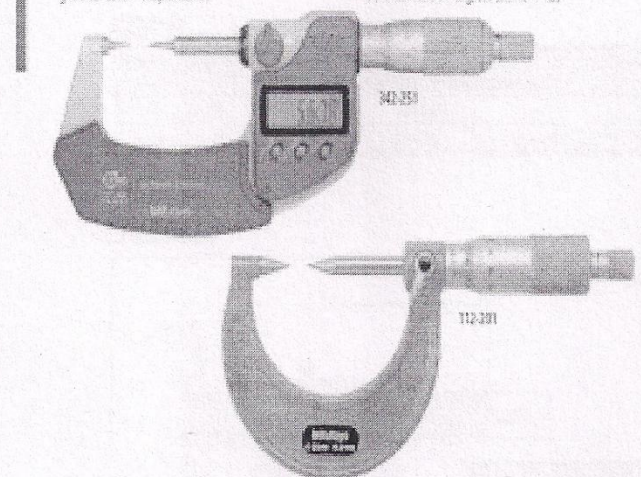


Micrómetros de Puntas

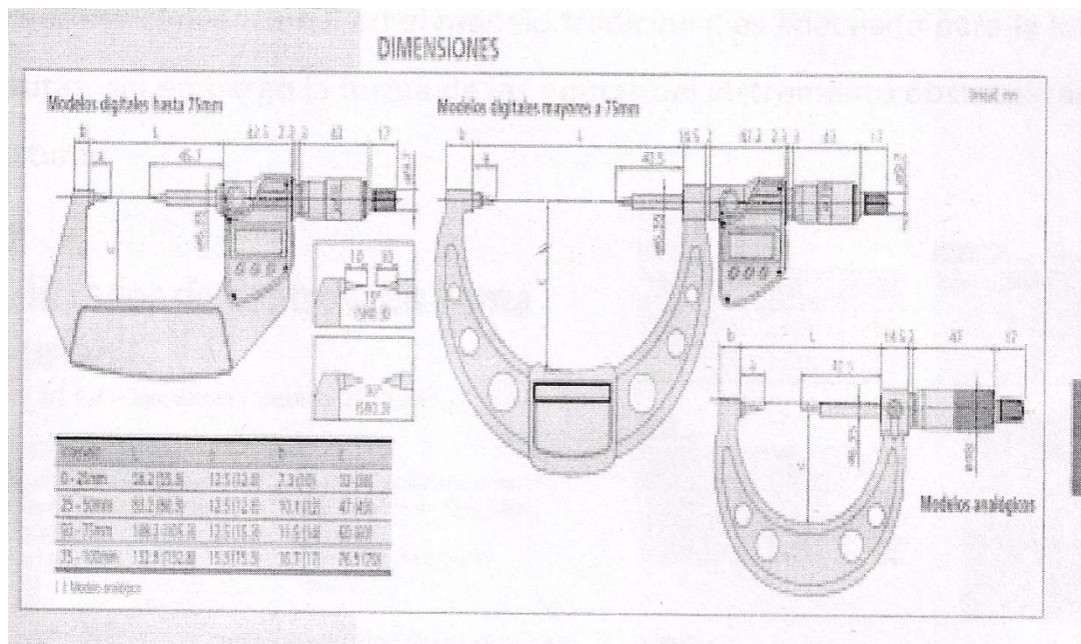
SERIE 342, 142, 112

CARACTERÍSTICAS

- Husillo y topo de punta para medición del espesor de bridas, pequeñas ranuras, cuñeros y otras dimensiones difíciles de lograr.
- Puntas de medición de 15 grados y 30 grados están disponibles.
- Las puntas de medición (de carburo) tienen un radio de 0.3mm aproximadamente.
- Protección IP65 polivalagua (serie 342).
- Con trinquete para fuerza constante.
- Con salida para SPC (serie 342).
- Con contador digital (serie 342).



Tipos de Micrómetros considerados para el estudio



Tipos de Micrómetros de roscas-puntas

El micrómetro de puntas y de roscas tiene un punto de sujeción débil, es decir, la distancia entre flautas tiene que “triangularse” lo cual aumentaría el grado de incertidumbre.

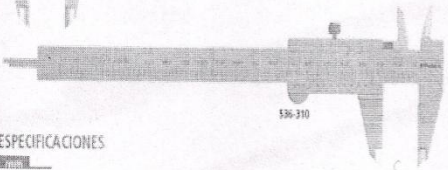
Calibrador Vernier

SERIE 560, 536 — Libre de Error de Paralaje

CARACTERÍSTICAS

- Escalas vernier libres de error de paralaje para lecturas fáciles y mediciones sin falla.
- Puede medir exteriores e interiores, profundidad y escalones.
- Con tornillo de sujeción sobre el cursor.
- El modelo especial (serie 536) diseñado para zurdos está disponible.



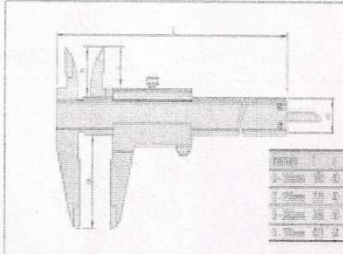
ESPECIFICACIONES

Intervalo	Código No.	Observaciones: forma de medición de punta/dif. producción de la escala	Precio USD
0-150mm	560-110	Varilla el. 3mm / 0.05mm	\$80.95
0-150mm	560-101	Cuchilla / 0.05mm	\$84.98
0-150mm	536-310	Cuchilla / 0.05mm / Tipo para zurdos	\$140.00
0-150mm	560-102	Cuchilla / 0.05mm / Modelo de alta exactitud: 0.02mm	\$89.95
0-200mm	560-108	Cuchilla / 0.05mm	\$111.00
0-200mm	560-109	Cuchilla / 0.05mm	\$220.00

Modelo digital

Intervalo	Código No.	Observaciones: forma de medición de punta/dif. producción de la escala superior/inferior	Precio USD
0-150mm	560-104	Cuchilla / 0.05mm / 1/100mm	\$86.95
0-200mm	560-108	Cuchilla / 0.05mm / 0.01mm / Modelo de alta exactitud: 0.02mm	\$114.00

DIMENSIONES



Intervalo	A	B	C	D
0-150mm	150	45	30	16.2
0-150mm	150	45	30	16.2
0-150mm	150	45	30	16.2
0-150mm	150	45	30	16.2
0-150mm	150	45	30	16.2

Características de calibrador vernier

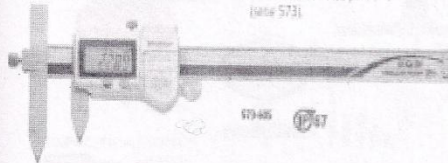
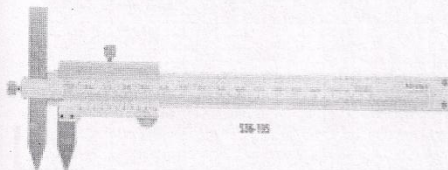
El vernier convencional en el método tradicional es adecuado para la longitud entre flautas, sin embargo la forma de las puntas del instrumento obstaculizan la toma de lecturas.

Calibrador de Centros con Punta Ajustable

SERIE 534, 536 — Tipo Vernier y Digimatic ABSOLUTE

CARACTERÍSTICAS

- Especialmente diseñado para mediciones de distancia de centro a centro en el mismo o diferentes planos.
- Puede medir del borde al centro.
- El diámetro de agujero debe estar en el intervalo 1.5mm - 10mm (1/16pulg - 4pulg).
- Con salida de datos para SP.

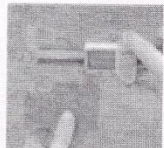
ESPECIFICACIONES

Intervalo	Código No.	Forma	Precio USD
10-160mm	534-405	Instrumental	\$509.00
10-210mm	534-406	Instrumental	\$581.00
10-210mm	534-408	Instrumental	\$603.00

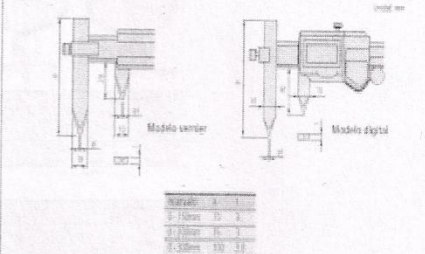
Intervalo	Código No.	Forma	Precio USD
10-150mm	536-105	Instrumental	\$335.00
10-200mm	536-104	Instrumental	\$361.00
10-200mm	536-107	Instrumental	\$403.00

Modelo digital

Intervalo	Código No.	Forma	Precio USD
4-6pulg	534-705	Instrumental	\$485.00
4-6pulg	534-706	Instrumental	\$581.00
4-12.4pulg	534-708	Instrumental	\$667.00



DIMENSIONES



Intervalo	A	B
0-150mm	150	45
0-150mm	150	45
0-150mm	150	45

Calibrador de punta ajustable

El vernier de centros de punta ajustable funcionan bien de acuerdo al método de medición, sin embargo su elevado costo, así como las características desperdiciadas lo hacen poco rentable si se piensa en un futuro práctico del estudio realizado.

Calibrador de Centros con Puntas Posteriores

SERIE 573 — Tipo de Centro a Centro y de Borde a Centro

CARACTERÍSTICA

- Especialmente diseñado para mediciones de distancia entre dos centros o la distancia del borde al centro.
- Disponible con puntas detrás del cursor, las mediciones se pueden leer fácilmente mirando hacia abajo.
- Puede realizar la lectura directa de las mediciones del paso debido a la función de fijado del valor compensado.
- Con salida de datos para SPC.

ESPECIFICACIONES

Tipo de distancia entre centros			
Intervalo	Código No.	Error Instrumental	Precio USD
10-200mm	573-116-10	±0.10mm	\$1,150.00
10-300mm	573-117-10	±0.15mm	\$1,190.00

Tipo distancia de borde a centro			
Intervalo	Order No.	Error Instrumental	Precio USD
10-200mm	573-118-10	±0.10mm	\$1,020.00
10-300mm	573-119-10	±0.15mm	\$1,070.00

573-116-10
Tipo centro a centro

573-118-10
Tipo borde a centro

DIMENSIONES

Unidad: mm

Calibrador de puntas posteriores

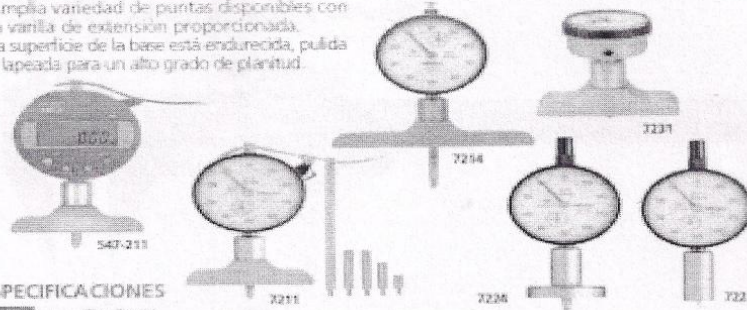
Al igual que el de puntas ajustables, su precio por arriba de los 1000 dls. lo hacen poco factible si se piensa en la aplicación industrial.

Medidor de Profundidad con Carátula/ Digimatic ABSOLUTE

SERIE 547, 7

CARACTERÍSTICAS

- El medidor de profundidades Digimatic ABSOLUTE puede mantener el punto de origen una vez fijado por el resto de la vida de la pila. (serie 547)
- Amplia variedad de puntas disponibles con la varilla de extensión proporcionada.
- La superficie de la base está endurecida, pulida y lapeada para un alto grado de planitud.
- Diseñado con un indicador de carátula tipo vástago posterior para lecturas en la vista superior. (7231, 7237, 7238)
- Cero salida de datos para PC. (serie 547)

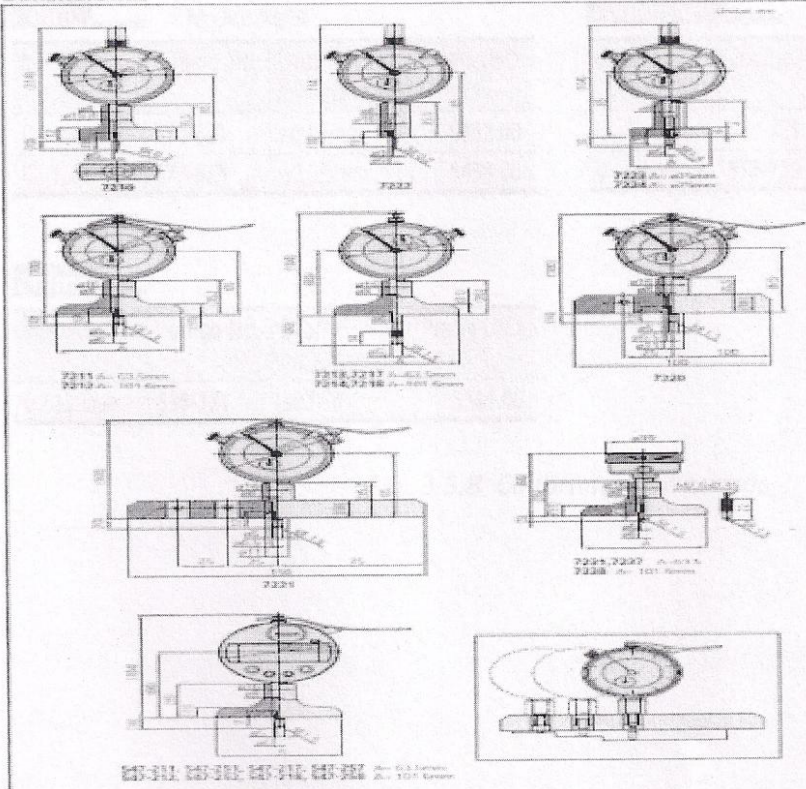


ESPECIFICACIONES

mm Tipo Digital						
Intervalo	Código No.	Resolución	Error Instrumental	Varilla de extensión	Base (A x B, Planitud)	Precio USD
0 - 200mm	547-211	12mm	±20µm	5 pzas. (10, 20, 30, 30, 100mm)	63.5 x 16mm, 5µm	\$398.00
0 - 200mm	547-212	12mm	±20µm	5 pzas. (10, 20, 30, 30, 100mm)	60.16 x 16mm, 5µm	\$402.00
0 - 200mm	547-251	12mm	±5µm	5 pzas. (10, 20, 30, 30, 100mm)	63.5 x 16mm, 2µm	\$506.00
0 - 200mm	547-252	12mm	±5µm	5 pzas. (10, 20, 30, 30, 100mm)	60.16 x 16mm, 2µm	\$520.00

in pulg. Tipo Digital						
Intervalo	Código No.	Resolución	Error Instrumental	Varilla de extensión	Base (A x B, Planitud)	Precio USD
0 - 8pulg.	547-217	5pulg.	±.001pulg.	4 pzas. (1.5, 1, 2, 4pulg.)	2.5 x 63, .0002 pulg.	\$417.00
0 - 8pulg.	547-218	5pulg.	±.001pulg.	4 pzas. (1.5, 1, 2, 4pulg.)	4 x 63, .0002 pulg.	\$423.00
0 - 8pulg.	547-257	5pulg.	±.001pulg.	4 pzas. (1.5, 1, 2, 4pulg.)	7.5 x 63, .0002 pulg.	\$514.00

DIMENSIONES



Medidor de profundidad

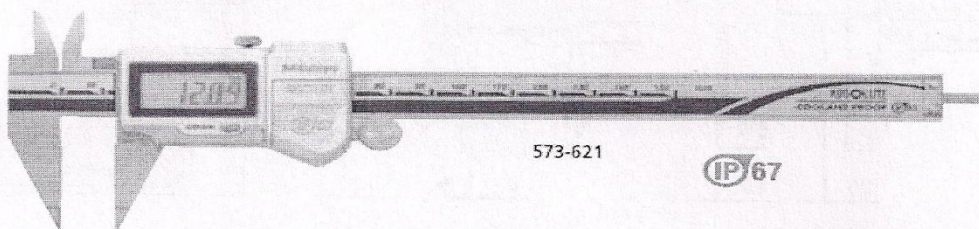
Los medidores de profundidad no poseen la habilidad de obtener la longitud entre flautas, aun cuando la profundidad de los valles de la flauta se obtengan fácilmente.

Calibrador con Puntas

SERIE 573, 536 — Tipo Vernier y Digimatic ABSOLUTE

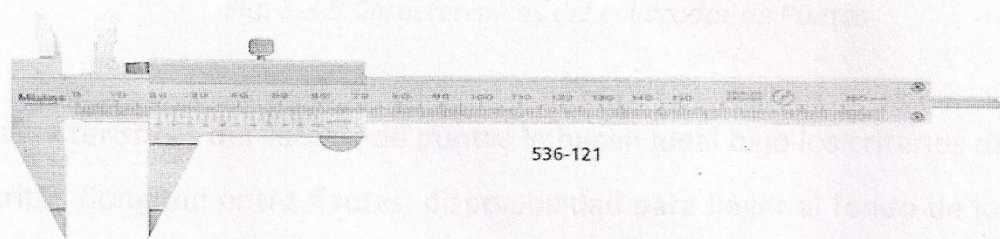
CARACTERÍSTICA

- La delgada punta de medición entra en ranuras y correderas muy pequeñas, haciendo las mediciones difíciles de exteriores mucho más fácil de obtener.
- Con barra de medición de profundidad.
- Con salida de datos para SPC (serie 573).



573-621

IP67



536-121

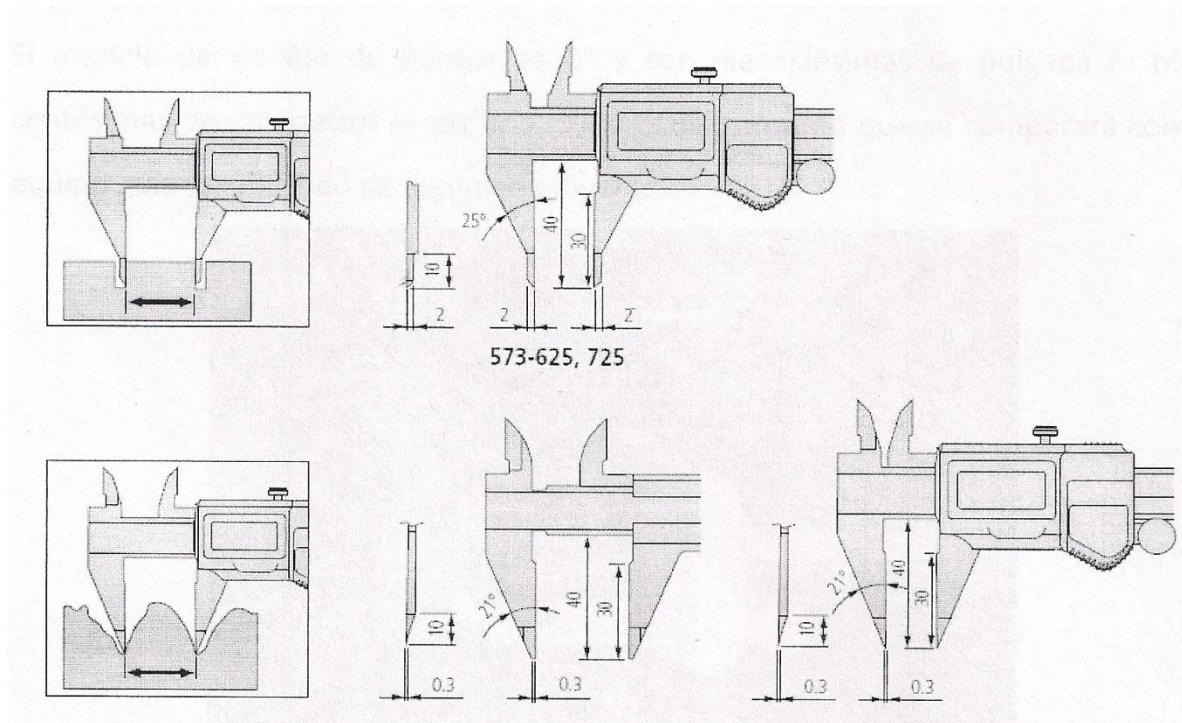
ESPECIFICACIONES

mm		Modelo digital	
Intervalo	Código No.	Error instrumental	Precio USD
0 - 150mm	573-621	±0.02mm	\$352.00
0 - 150mm	573-625	±0.02mm	\$438.00

pulg/mm		Modelo digital	
Intervalo	Código No.	Error instrumental	Precio USD
0 - 6 pulg	573-721	±.001 pulg	\$352.00
0 - 6 pulg	573-725	±.001 pulg	\$438.00

mm			
Intervalo	Código No.	Error instrumental	Precio USD
0 - 150mm	536-121	±0.05mm	\$161.00

Calibrador con puntas



Características de calibrador de puntas

Las características del vernier de puntas lo hacen ideal bajo los criterios de medición descritos (longitud entre flautas, disponibilidad para llegar al fondo de los valles de cada flauta, precisión y punto de apoyo en las lecturas), según la parte inferior del esquema anterior se aprecia la capacidad de lograr fácilmente la lectura de distancia entre flautas.

El error instrumental definido por el fabricante es de $\pm 0,02$ mm o su equivalente de $\pm 0,001$ pulgada bajo un intervalo de lectura por arriba de los 100 mm lo cual sobrepasa la distancia pensada de acuerdo al valor nominal comentado en el tema anterior como de 7,25 mm.

Después de elegir el modelo del instrumento la siguiente decisión tuvo que ver con la clasificación general que existe en términos de metrología: instrumentos digitales o instrumentos convencionales. Se elige primero para eliminar error de paralelismo, de apreciación e incluso de sensibilidad sobre las condiciones. Es cierto que algunos factores también afectan a los instrumentos digitales por ejemplo el redondeo que electrónicamente manipulan las casas fabricantes, sin embargo se considera despreciable su cuantificación entre otros motivos porque ya se incluyeron en el error de instrumentación que da el fabricante.

El modelo de vernier de puntas de 6" y con diezmilésimas de pulgada (o bien centésimas de milímetro) prefirió como el instrumento que se comparará con el equipo guía del método de ingeniería inversa.



Calibrador de puntas para el estudio

El instrumento que guio el estudio en cuanto a las condiciones ambientales es un sensor de humedad-temperatura ambiente. La elección fue relativamente más sencilla, los diferentes modelos difieren en gran medida por el costo, sin embargo y a favor del estudio se puede asegurar de acuerdo a los manuales de características que las capacidades y sensibilidad tanto de humedad como de temperatura son despreciables sin importar el modelo. A continuación se describe el sensor de humedad-temperatura con el que se trabajó:



Lector de humedad y temperatura ambiental Extech

Especificaciones del termómetro	
Precisión RH	$\pm 5\%$ (33 ^a 75% RH) $\pm 7\%$ (1-32% y 76-99% RH)
Precisión de temperatura	$\pm 3^{\circ}\text{F}$ / $1,5^{\circ}\text{F}$
Resolución	0.1 / 1°C
Temperatura	-10 a 50°C (14 a 22°F)
Índice de Calor	22 a 50°C
Humedad	1 a 99 % RH
Tasa de actualización	5 seg. En modo de índice de calor

Debe recordarse que una característica importante del material corrugado, en particular del papel que lo forma es su casualidad de ser higroscópico, es decir, es sensible a la humedad para conservar su estructura. Un lector de humedad y de temperatura se consideró como fuentes de incertidumbre, no en vano se cuidó el detalle de establecer las mismas condiciones en el desarrollo del estudio.

El equipo que guio el estudio desde la perspectiva de la ingeniería de reversa es el scanner de 3D Picza llamado PIX-4. La elección de este equipo se justifica por la posibilidad física y disponibilidad permanente para realizar las lecturas del material. Si bien puede suponerse que pudo haber sido interesante utilizar alguna pistola scanner para facilitar el proceso de obtención de lecturas, o encontrar algún equipo de reciente generación, la realidad es que una limitante radica en la tecnología disponible dentro del país. Lo interesante en este estudio es que en futuros párrafos se demostrará la relativa nulidad de sistemas tecnológicamente avanzados cuando de cálculo de incertidumbre se trata.

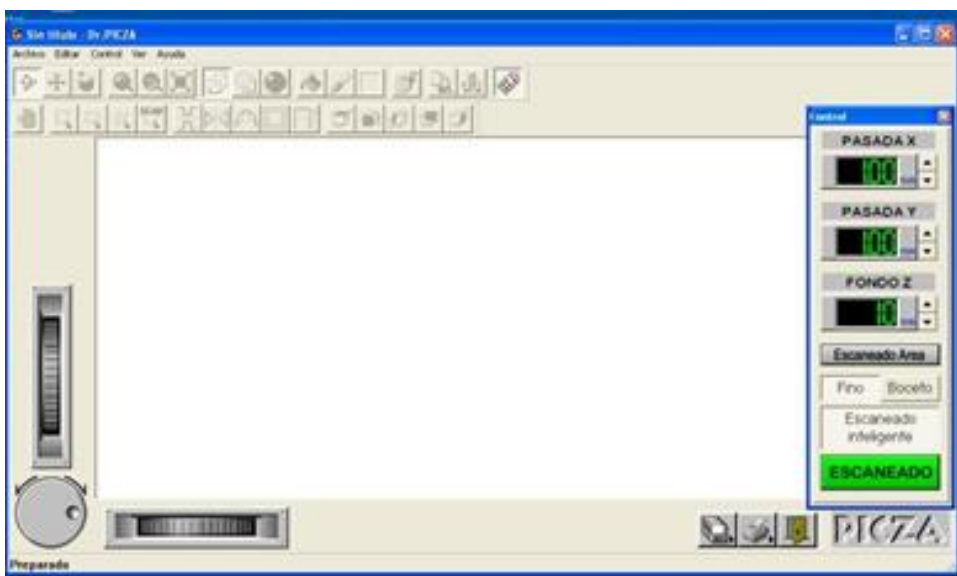
El modelo de scanner PIX-4 incluye el software de Rolan llamado DrPicza, el cual es una incipiente aplicación que concuerda de manera natural con el equipo por ser mismo grupo empresarial, sin embargo tiene limitantes reconocidas que tienen que ver con la

posibilidad de trabajo así como la efectividad de la interfaz, por esto en su momento se hablará del traslado al ambiente CAD con el software Solidworks por ejemplo.



Scanner de 3D del fabricante Picza

El modelo de scanner PIX-4 incluye el software de Rolan llamado DR Picza, el cual es una naciente aplicación que concuerda de manera natural con el equipo por ser mismo grupo empresarial, sin embargo tiene limitantes reconocidas que tienen que ver con la posibilidad de trabajo así como la efectividad de la interfaz, por esto en su momento se hablara del traslado al ambiente CAD con el software Solidworks por ejemplo.



Pantalla principal del software de 3D

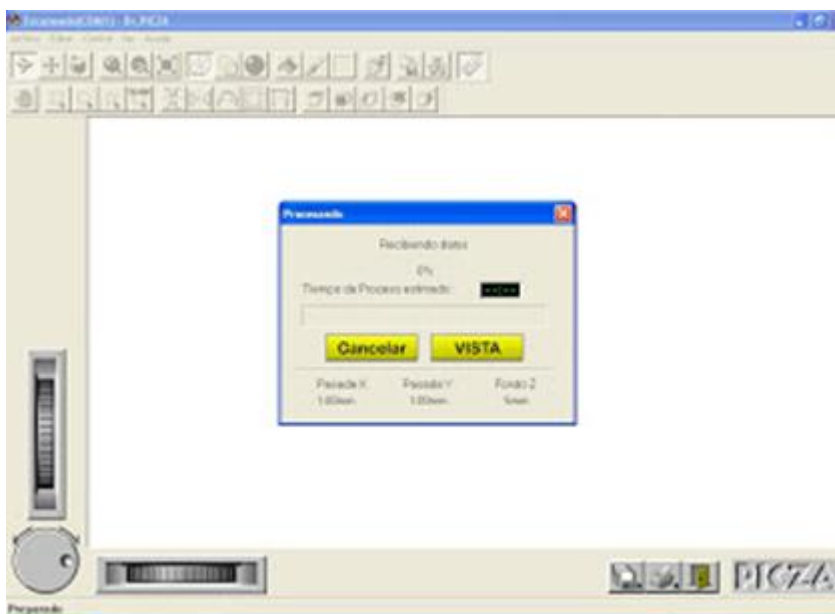
La funcionalidad del paquete se basa en los típicos ejes de coordenadas y de trabajo en el ambiente virtual, que es a fin de cuentas la ventaja que justifica este estudio; la comparación del ambiente virtual y el convencional. El equipo necesita establecer los parámetros de los ejes tridimensionales, **x, y,z**.

La siguiente tabla muestra las características principales:

Especificaciones del Scanner de 3D	
Archivos de formatos	DXF, VRML, 3DMF
Velocidad de escaneado	X/Y 30mm/sec Z 9 mm/sec
Nivel de acústica	Debajo de 40 dB
Peso	4.9 kg (10.8lb)
Operación con Humedad	35 - 80 %
Operación por temperatura	5 - 40 °C

El proceso de lectura del scanner se auxilia del software DR Picza, la creación de puntos escaneados forma una nube de puntos que posteriormente se utilizaran en solidworks.

Pantalla de avance del
Software del Scanner de 3D



3.4 Estimación de la incertidumbre de los instrumentos

El proceso del cálculo de incertidumbre utilizando el vernier digital requirió un método de medición adecuado para garantizar en la medida posible la validez de los resultados. Los pasos propuestos en este estudio fueron sondeados por la experiencia del puesto de auditorías de calidad en empresas del giro, además de las observaciones técnicas inherentes al uso del vernier.

- Se marca longitudinalmente el fondo del valle de la flauta, es relativamente sencillo porque es precisamente el punto más bajo de la flauta.
- Se colocan las puntas del vernier sobre la marca longitudinal, como es posible que las puntas tengan un “juego” milimétrico se realizan marcas transversales para asegurar la medida sobre un solo punto y lograr la lectura de la distancia entre flautas.

El instrumento está calibrado por un laboratorio acreditado, esto elimina el error o sospecha de lectura anormal por motivo del instrumento. El que el instrumento sea digital evita el uso excesivo de la fuerza ejercida al efectuar mediciones. Esta misma condición elimina el error de paralaje ya que sin importar el ángulo de visión el display del instrumento mostrar el mismo valor.

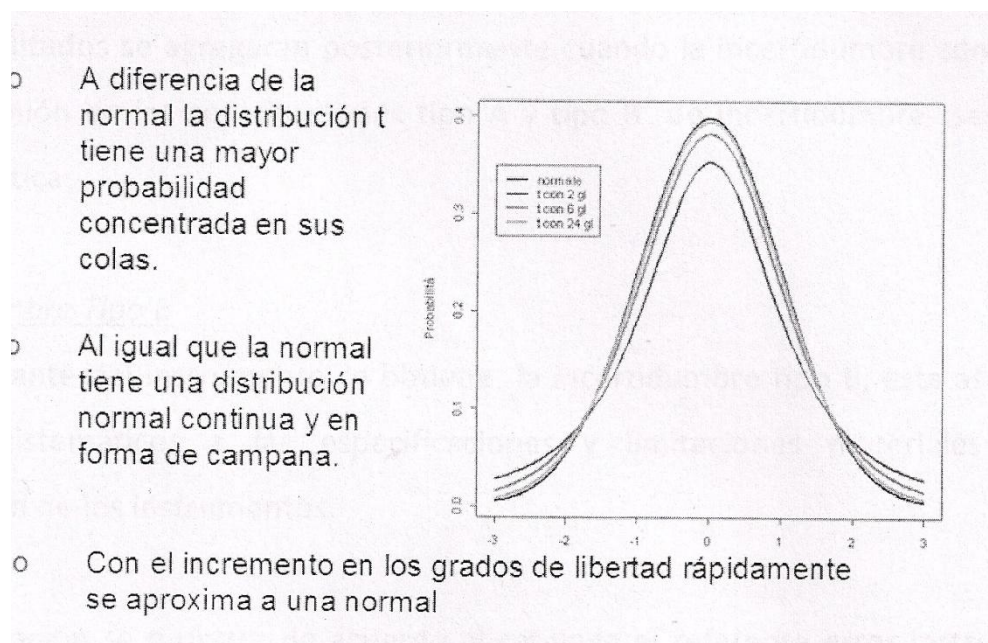
Una característica favorable del vernier de puntas es que minimizó el error por punto de apoyo y sujeción del instrumento, en el método de medición esto era un punto crítico en donde conservar el paralelismo del eje del instrumento y el plano longitudinal del material corrugado fue importante.

Incertidumbre Tipo A (vernier)

La incertidumbre tipo A se obtiene por fundamento estadístico, en base a una serie de lecturas obtenidas, a partir de su media y su desviación estándar se aplica la fórmula de este tipo de incertidumbre.

$$U(X_i) = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{1}{n-1}} * \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2 \quad (32)$$

En el anexo 2 se presentan las lecturas de las que se obtuvieron tanto la desviación estándar experimental como la media para el análisis estadístico. Si el número de repeticiones fuera relativamente pequeño, por ejemplo menor a 20 lecturas, puede ser erróneo el procedimiento porque la desviación podría cambiar de tendencia, en ese caso se requiere un factor de seguridad que se trabaja comúnmente con las tablas de distribución T-student. Para nuestro caso el tamaño de muestra permite omitir el factor de corrección asociado a la tabla T-student. Aun así se deja el comentario del nivel de confianza equivalente a una sigma de desviación.



Comportamiento de Distribución t

Incertidumbre por repetitividad

Como se evaluaron estos equipos por estimadores estadísticos la incertidumbre, conviene colocar el estudio de repetitividad y su cálculo como fuente de incertidumbre en el apartado de *incertidumbre tipo A*. Se tomaron 60 lecturas que proceden del material de corrugado, como se supone que la repetitividad es una fuente de incertidumbre independiente de la resolución, entonces se justifica que se realicen cálculos distintos, en caso contrario los métodos de estimación de incertidumbre proponen tomar el valor mayor entre el error por repetitividad y el error por resolución.

Aunque la repetitividad del scanner podría considerarse nula porque el software asegura siempre encontrar el mismo punto de referencia y obviamente el mismo valor, en realidad en este estudio se evaluó un número de flautas siempre distintas y la distancia entre ellas, de este modo el estudio es un verdadero experimento estadístico y al mismo tiempo es un estudio práctico ya que el escaneo del material permite establecer criterios para el desarrollo del corrugado.

Vernier:

$$U(X_i) = (0,1290994)(0,279058) = \mathbf{0,01514801mm} \quad (33)$$

Scanner 3D:

$$U(X_i) = (0,1290994)(0,033971) = \mathbf{0,00620222} \quad (34)$$

Estos resultados se agregaran posteriormente cuando la incertidumbre combinada exija la unión de las contribuciones tipo A y tipo B de incertidumbre según sus características.

Incetidumbre Tipo B

Del fabricante del instrumento se obtiene la incertidumbre tipo B, ésta asocia los errores sistemáticos a las especificaciones y limitaciones materiales de la fabricación de los instrumentos.

Vernier

A continuación se muestra de acuerdo al catalogo el referente error instrumental aplicado al estudio realizado:

ESPECIFICACIONES

mm Modelo digital				pulg/mm Modelo digital			
Intervalo	Código No.	Error Instrumental	Precio USD	Intervalo	Código No.	Error Instrumental	Precio USD
0 - 150 mm	573 - 621	±0.02	\$352.00	0 - 6 pulg	573 - 621	±0.001	\$352.00
0 - 150 mm	573 - 625	±0.02	\$438.00	0 - 6 pulg	573 - 725	±0.001	\$438.00

Precisión según tabla del fabricante del vernier digital

Para el scanner de 3D se conocen los datos de la familia Roland (de la cual PIX-4 tiene un modelo “hermano” PIX-30) escanean por el método de contacto-punto de malla y utilizando un sensor de altura. El sensor es una aguja denominada RAPS (Roland Active Piezo Sensor). El potencial del escáner es de alto rendimiento, le permite un campo de exploración de 0,025 mm.

El nivel de confianza puede determinarse considerando una distribución rectangular (para tener todos los elementos bajo la misma probabilidad de ocurrencia) bajo la expresión:

$$U_{xi} = \frac{a^2}{2\sqrt{3}} = \text{incertidumbre expresada para un sigma} \quad (35)$$

La distribución rectangular utilizada también afecta el cálculo de desviación estándar; cada valor del intervalo posee una densidad de probabilidad constante como se explico en capítulos anteriores.

Incertidumbre por resolución del instrumento

Aplica tanto al vernier como al scanner, los datos del fabricante se utilizan para la cuantificación de la incertidumbre, se supone una distribución rectangular para ambos equipos y se establece la resolución por la mínima división del instrumento, para el vernier se dispuso en el tema anterior la tabla de error, para el scanner se obtiene del manual la recomendación de precisión en el eje Z que es sobre el cual se realizo el estudio.

Vernier:

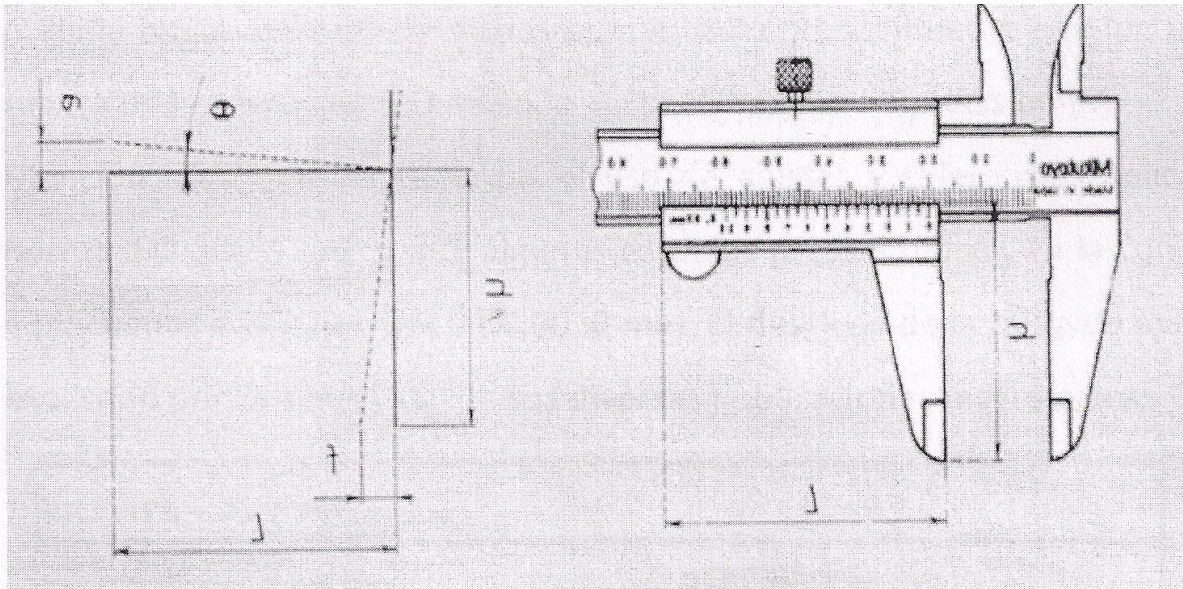
$$U_{xi} = \frac{0,02}{2\sqrt{3}} = \mathbf{0,011547} \quad (36)$$

Scanner:

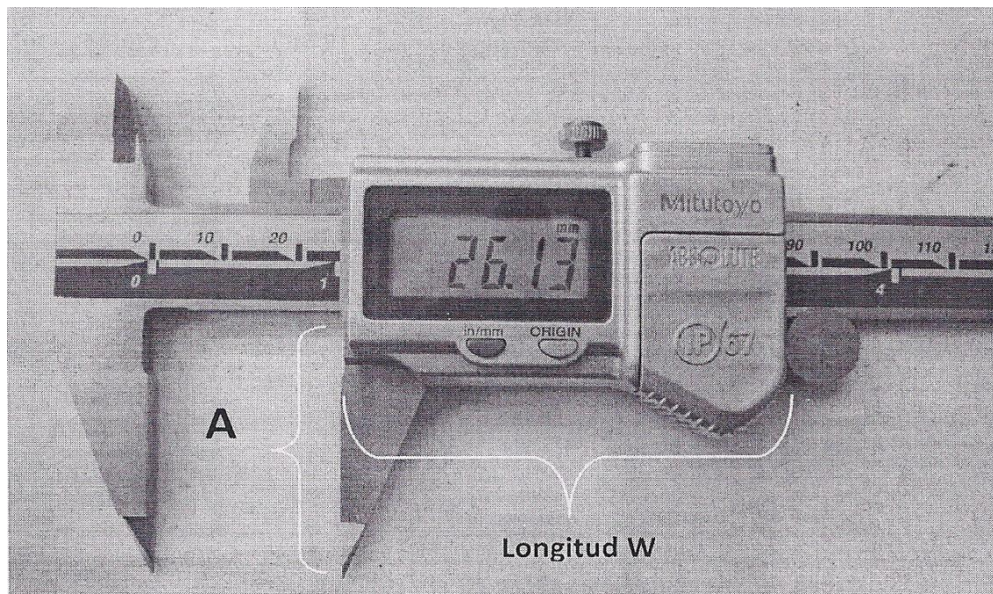
$$U_{xi} = \frac{a^2}{2\sqrt{3}} = \mathbf{0,0180421} \quad (37)$$

Incertidumbre por Error de Abbe para vernier

El error de Abbe aplica sólo al vernier y no aplica al scanner 3D, la razón se detallo en el capitulo anterior. El error de Abbe forma parte del tipo B de incertidumbre porque incluye factores de ajuste y longitudes determinantes por el fabricante, conviene recordar que el vernier es digital pero el eje de medición funciona con el mismo principio que un calibrador tradicional; la siguiente figura ejemplifica los elementos que componen la expresión matemática:



Elementos de la fórmula de Abbe para el vernier



Acotación de elementos de la fórmula de Abbe

De la ecuación (2) evaluamos la altura A y la longitud W(36) tomando en cuenta los valores tradicionales del vernier para estos casos:

La altura A= 40 mm

La longitud W= 53 mm

La holgura= 0,01 mm

De esta forma:

$$E = 40 * \frac{0,01}{53} = 0,00754716 \quad (38)$$

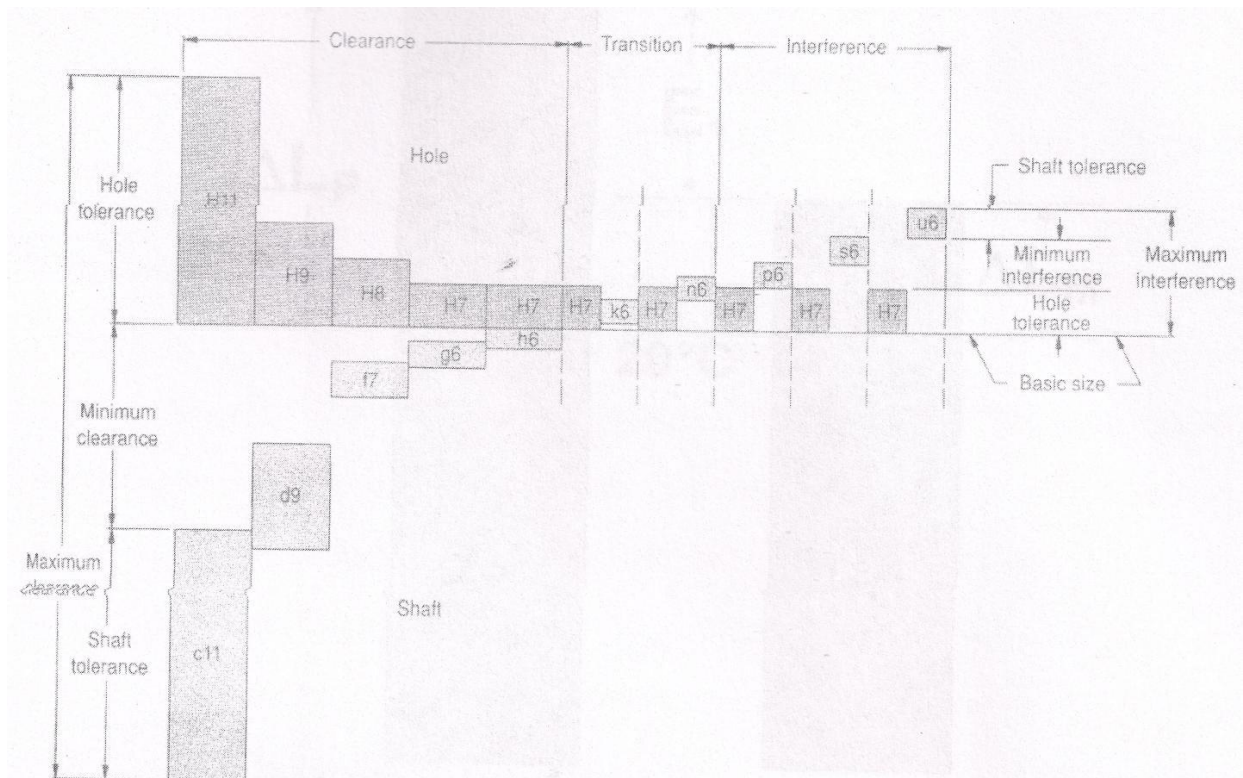
Algunos estudios presentan una altura de 20 mm cuando se calcula la incertidumbre en vernier; la diferencia consiste en colocar las puntas que realizan la medida hasta el fondo de dichas puntas, este procedimiento se efectúa cuando se realiza una calibración y el método exige el máximo de precisión.

Mención inevitable es recordar el uso de ajustes y tolerancias aplicadas bajo la norma ISO 286-1 y que algunos estudios previos ubican en la condición H7/g6 equivalente a una holgura de 0,0036 mm. El desglose de la tabla de ajuste es mejor explicado por Zeleny en sus diversas publicaciones metrológicas.

ISO FITS ~ First Preference		
ISO SYMBOL		DESCRIPTION
Hole Basis	Shaft Basis	
H11/c11	C11/h11	Loose running fit for wide commercial tolerances or allowances on external members.
H9/d9	D9/h9	Free running fit not for use where accuracy is essential, but good for large temperature variations, high running speeds, or heavy journal pressure.
H8/f7	F8/h7	Close running fit for running on accurate machines and accurate location at moderate speeds and journal pressures.
H7/g6	G7/h6	Sliding fit not intended to run freely, but to move and turn freely and locate accurately.
H7/h6	H7/h6	Locational clearance fit provides snug fit for locating stationary parts; but can be freely assembled and disassembled.
H7/k6	K7/h6	Locational transition fit for accurate location, a compromise between clearance and interference.
H7/n6	N7/h6	Locational transition fit for more accurate location where greater interference is permissible.
H7/p6	P7/h6	Locational interference fit for parts requiring rigidity and alignment with prime accuracy of location but without special bore pressure requirements.
H7/s6	S7/h6	Medium drive fit for ordinary steel parts or shrink fits on light sections, the tightest fit usable with cast iron.
H7/u6	U7/h6	Force fit for parts which can be highly stressed or for shrink fits where the heavy pressing force required are impractical.

ISO FITS ~ Second Preference		
ISO SYMBOL		DESCRIPTION
Hole Basis	Shaft Basis	
H8/e8	E9/h9	Medium running fit (much clearance).
H8/h9	H8/h9	Sliding fit (parts slightly moveable).
H7/d9	D9/h6	Wide loose running fit (ample clearance).
H7/e8	E8/h6	Medium running fit (much clearance).
H7/f7	F7/h6	Running fit (parts easily moveable).
H7/j6	J7/h6	Locational transition fit (parts movable by hand, a hammer may be necessary).
H7/m6	M7/h6	Driving / Locational transition fit (parts have to be driven in by a hammer or press).
H7/r6	R7/h6	Press / Snug fit (parts can only be assembled by heating the part with the hole or chilling the shaft etc.).

Tabla de Ajustes



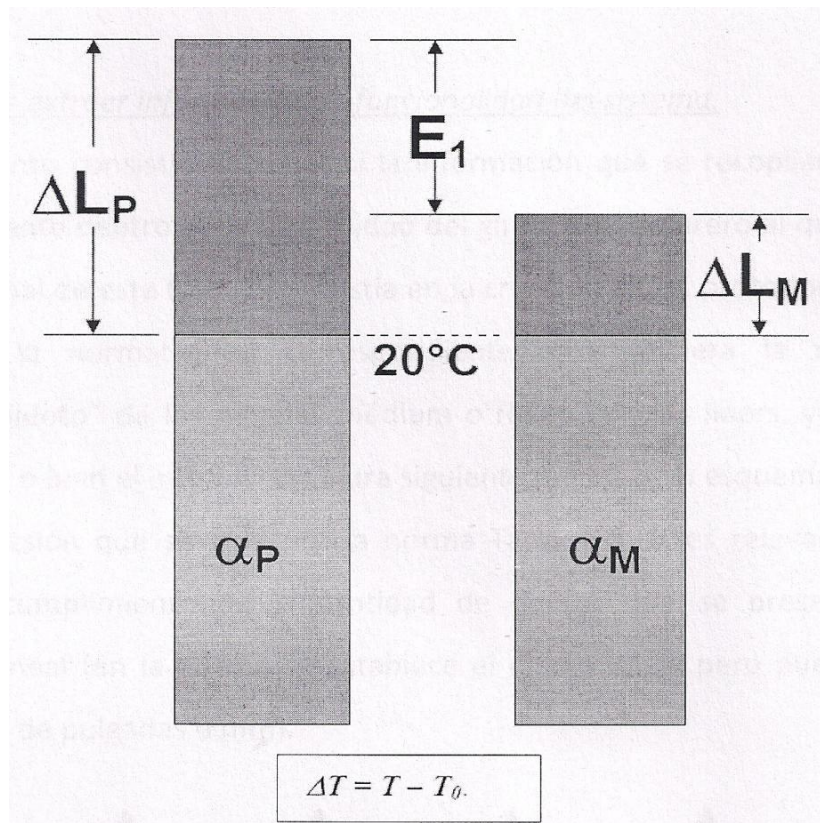
Gráfica de Ajustes y tolerancias

Incertidumbre originada por efectos térmicos

La temperatura es una de las tres variables fundamentales en el seguimiento al material de corrugado junto con la presión y la humedad; por efectos de temperatura se estudiaron los conceptos del coeficiente de expansión térmica presente en los metales y las diferencias de temperatura entre el instrumento y el medio ambiente y la magnitud que se estudió.

Estos dos conceptos se adhieren a la evaluación de la incertidumbre porque su contribución debe impedirse que se deseché, para cualquier otra ramificación del tema de temperatura debe recordarse el carácter de media y baja exactitud (x) según el instrumento, ya que por procesos de medición de media y baja exactitud no requieren una vigilancia rigurosa del medio ambiente.

Extraído del documento de calibración dimensional se muestran los esquemas representativos del cálculo de error por temperatura.



Diferencial de temperatura

La contribución térmica que hace del diferencial de temperatura es innegable porque desde la calibración del instrumento se puede asegurar que la temperatura ambiente del entorno y el ambiente práctico no es el mismo. Este mismo razonamiento aplica al material del que están hechos ya que la temperatura también será diferente.

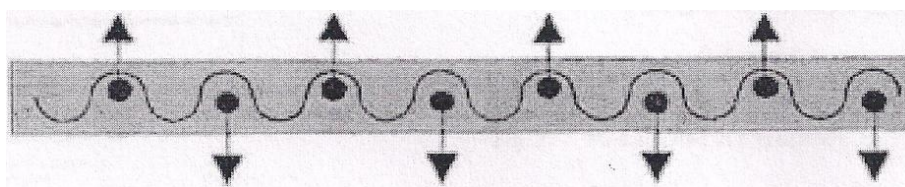
Si existen otras fuentes de incertidumbre, entonces debe calificarse el impacto que tengan sobre el estudio porque a menudo su impacto es mínimo y en este caso se consideran “despreciables” el aporte a la incertidumbre general.

3.5 Aplicación de la Ingeniería Inversa

La metodología de la medición por el proceso de ingeniería inversa requiere un análisis previo del sistema que será medido. Se propone en este estudio para completar tanto cartas de trazabilidad, como presupuestos de incertidumbre o como muchos otros elementos del sistema productivo del giro del papel, la extracción de la longitud de flauta. Se propone una metodología basada en las posibilidades de los equipos de digitalización de objetos en 3 dimensiones.

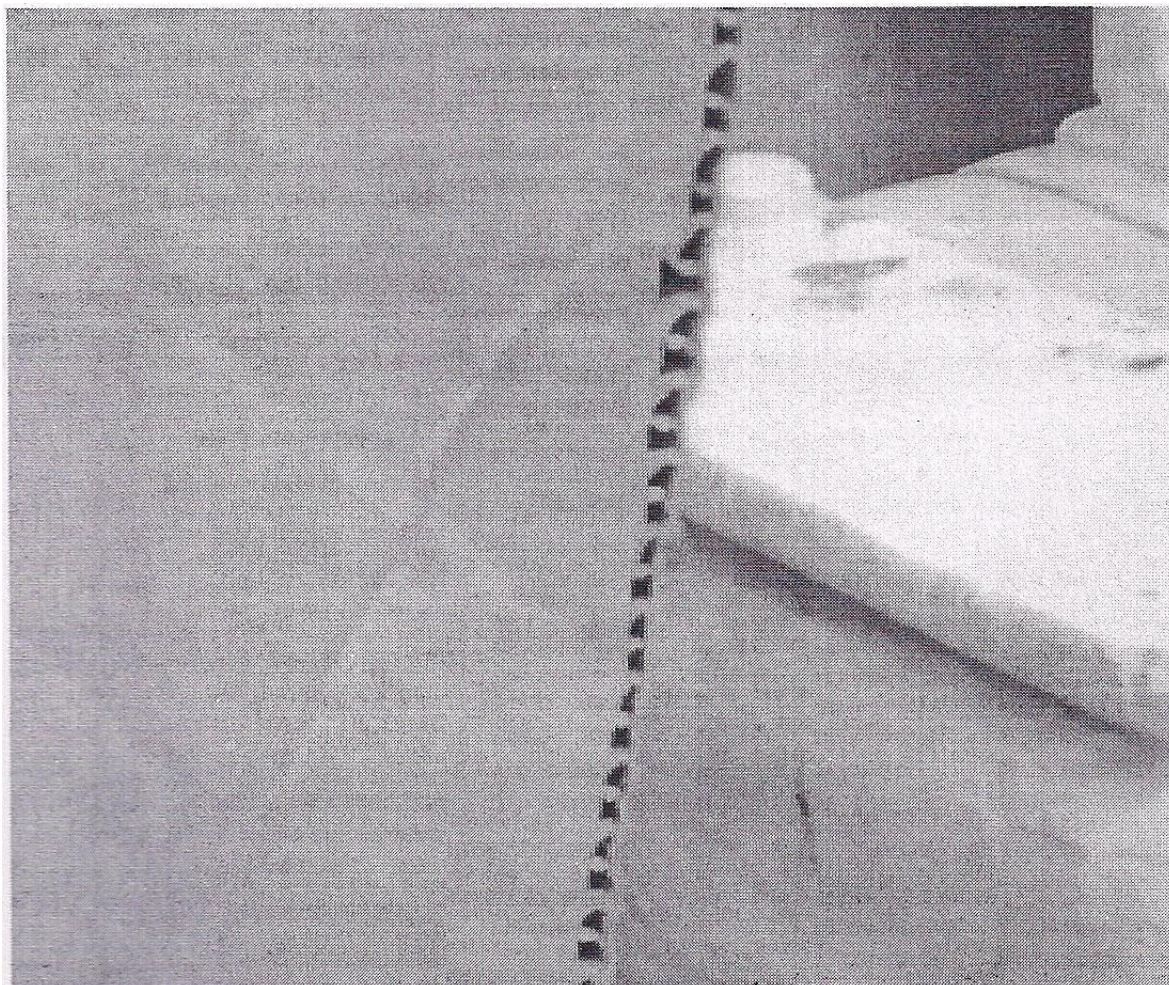
Capacidad de extraer información de funcionalidad del sistema

El primer punto consistió en saber si la información que se recopilara tendría un peso importante dentro de la practicidad del giro manufacturero al que va dirigido. La idea original de este trabajo consistía en la creación de un prototipo, validado de acuerdo a la normatividad correspondiente, que midiera la resistencia al “desprendimiento” de los papeles médium o rígido con los liners, ya sea el de la cara exterior o bien el interior. La figura siguiente se muestra un esquema de la prueba de pin-adhesión que se guía por la norma Tappi T-821, es relevante para este estudio el cumplimiento de la cantidad de flautas que se presentan en una dimensión lineal (en la norma se establece el metro lineal pero puede realizar la equivalencia de pulgadas o mm).



Esfuerzos presentados en las flautas de corrugado

En la figura anterior se representa la acción de las fuerzas de resistencia del material; un material “ladeado” pierde según la experiencia de realizar pruebas de explosión (mullen) hasta un 70% de su capacidad de resistencia.



Flauta deformada de una lámina de corrugado

La norma Tappi T 821 propone el esquema general de construcción del mecanismo de rompimiento bajo la prueba de adhesión utilizando pines que encajan en las ranuras de la flauta del corrugado.

3.1.1 An illustration of a commonly used instrument is shown in Figs. 1 and 2.

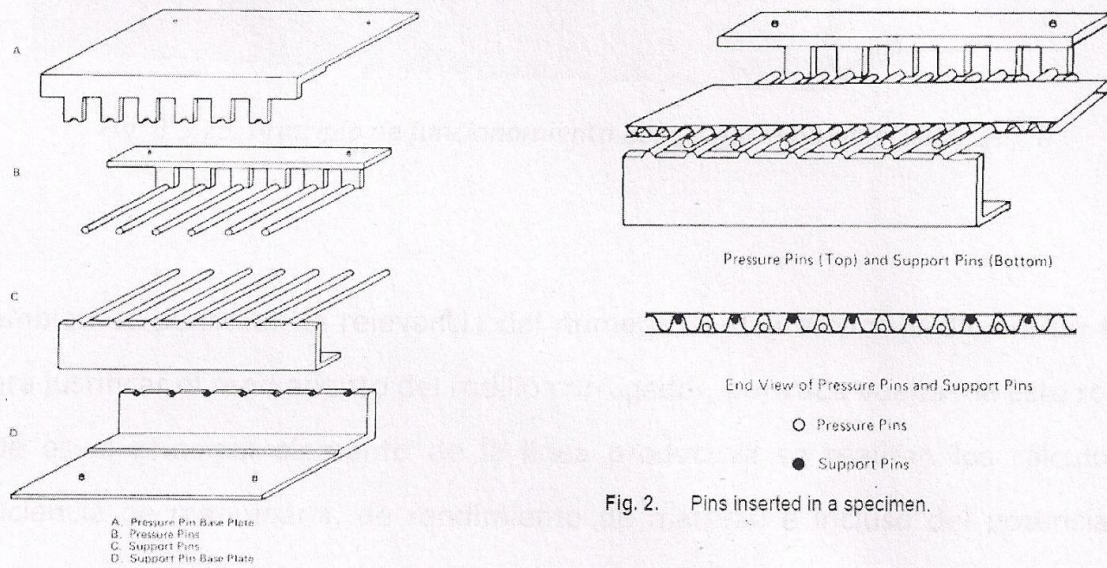


Fig. 1. Test apparatus before assembly.

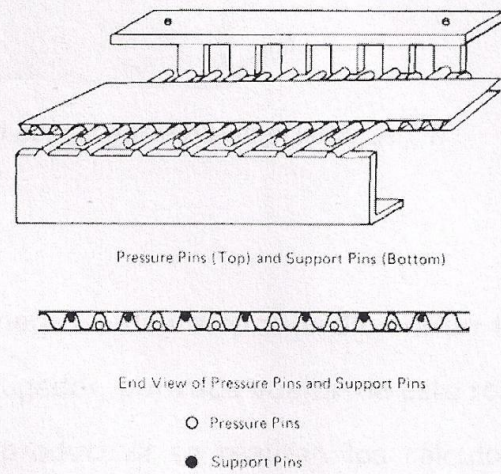
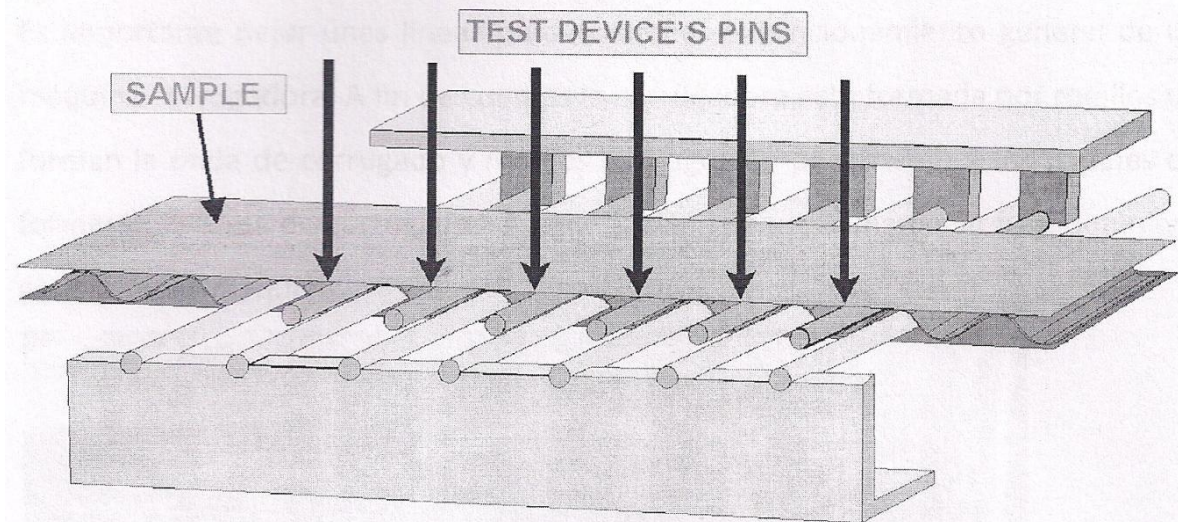


Fig. 2. Pins inserted in a specimen.

Representación del prototipo original presentado en la norma Tappi 821

La fuerza ejercida para esta prueba enfoca un punto crítico en el grado de penetración de almidón sobre el papel tanto liner como médium. Un exceso de pegamento si bien puede reforzar la unión entre papeles, está demostrado que agrega un porcentaje de humedad al corrugado, lo cual bajo las condiciones higroscópicas, hace que dicha lámina presente un comado externo o interno, según el lado que tenga más humedad.



Principio de funcionamiento del desgarre por la prueba de pin

También se pensó en la relevancia del número de flautas por la dimensión lineal para justificar el rendimiento del rodillo corrugador, por cada vuelta de este rodillo, que es el principal elemento de la línea productiva se realizan los cálculos de eficiencia de maquinaria, de rendimiento de material e incluso del potencial del factor humano. El desarrollo del papel es vital aun cuando la diferencia sea de cien milésimas unidades en cada vuelta, para entender esto, solo debe pensarse en las miles y miles de vueltas de rodillo a lo largo de los días, de las semanas, meses y años de trabajo.

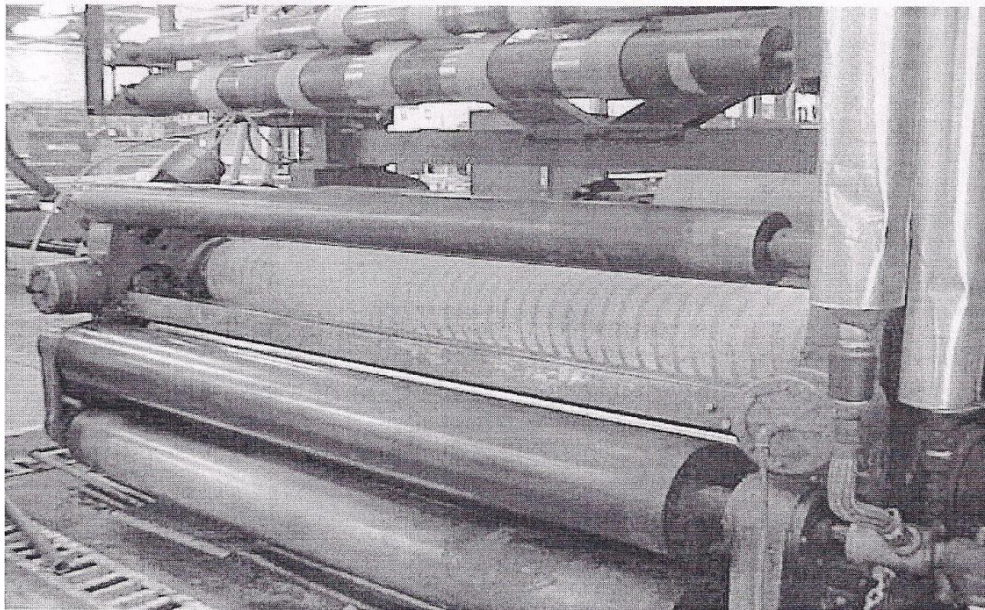
Table 1. Pin diameters and distance between pins for various flutes*.

Flute size	No. of flutes per mm (foot)	Pin diameter, mm (in.)	Distance between pins, center to center, mm (in.)
A	0.110 33	3.56 ± 0.05 (0.140 ± 0.002 in.)	18.47 ± 0.05 (0.727 ± 0.002)
B	0.155 47	2.03 ± 0.05 (0.080 ± 0.002)	12.98 ± 0.05 (0.511 ± 0.002)
C	0.130 39	3.05 ± 0.05 (0.120 ± 0.002)	15.62 ± 0.05 (0.615 ± 0.002)

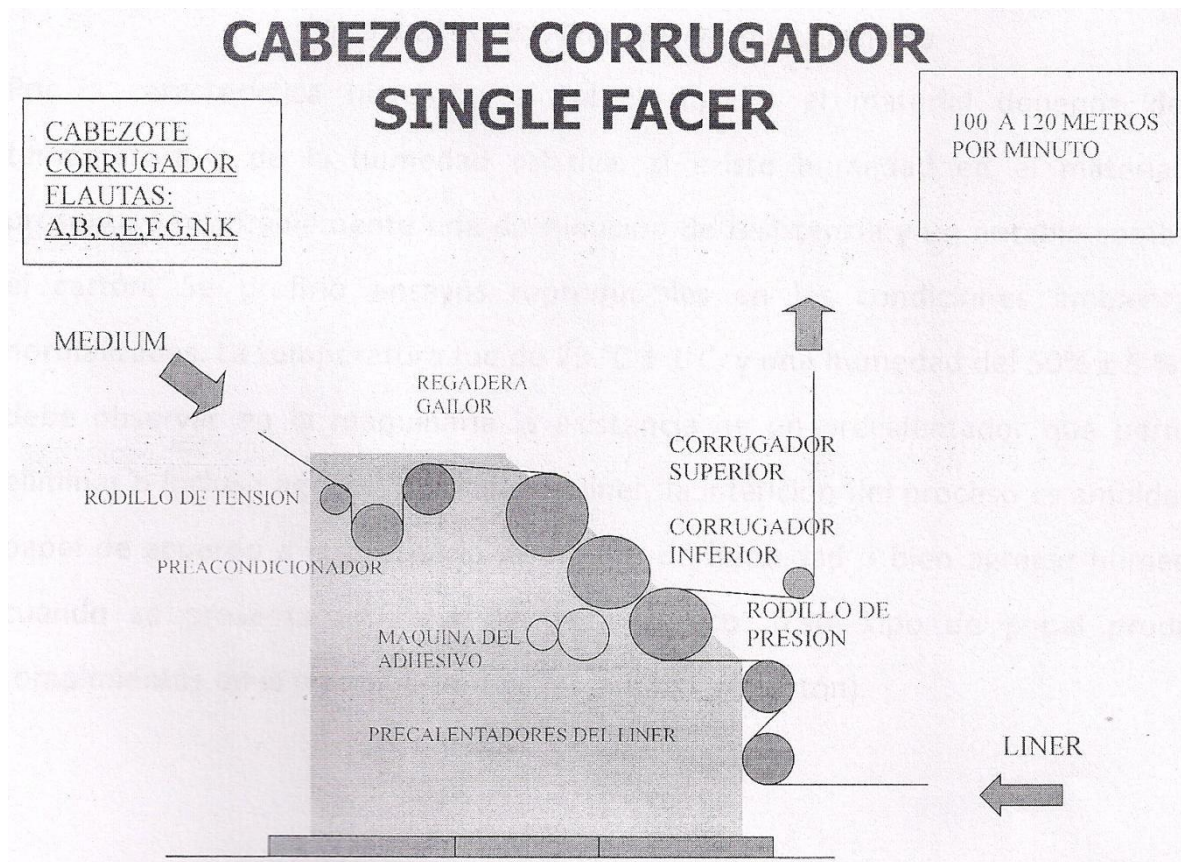
*Flutes per foot may vary with corrugator manufacturer. Thus, to make appropriate apparatus use pin diameter and tolerance for each flute size, and adjust pin spacing as required to tolerances noted.

Tabla 1 Diámetros de pin y cantidad de flautas por mm.

Es importante dejar unas líneas para comentar el funcionamiento general de una máquina corrugadora. A fin de cuentas la corrugadora está formada por rodillos que forman la onda de corrugado y rodillos que agregan pegamento a los papeles que formaran la onda de corrugado. A continuación se esquematiza el funcionamiento general de la máquina.



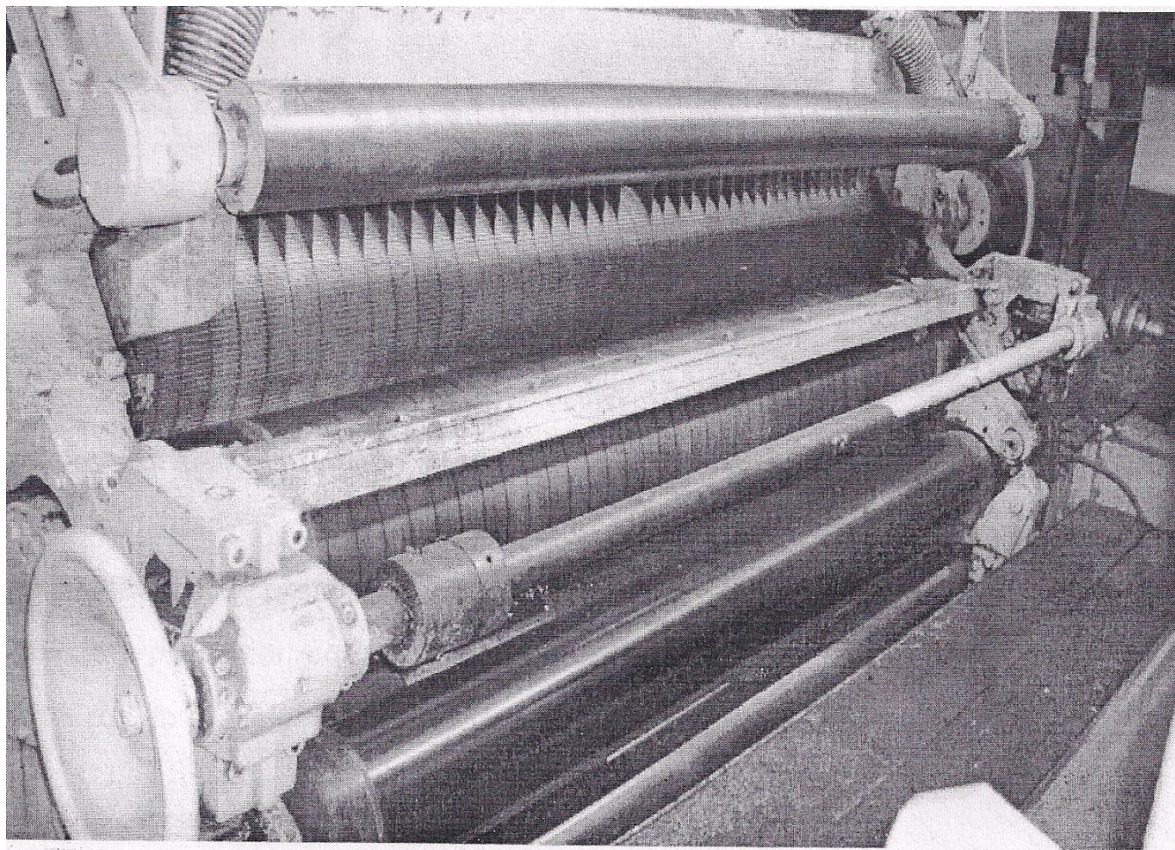
Rodillo Corrugador



Principio de funcionamiento de la máquina corrugadora

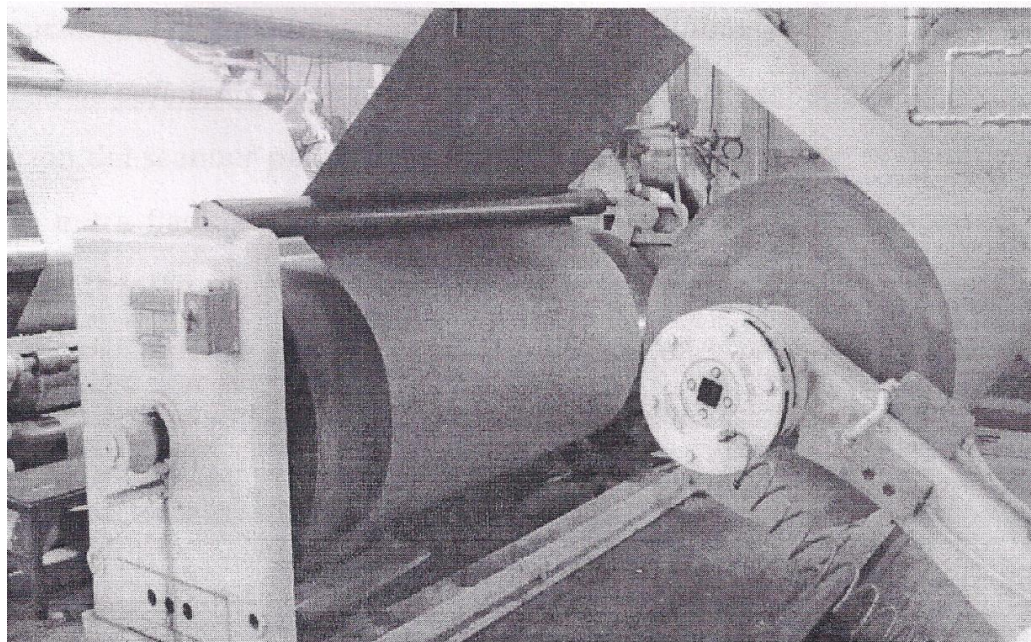
El rodillo Corrugador es el alma de la máquina. Debe cuidarse en el ajuste que las distancias de separación medidas con lana sean lo más exactas posibles. Si están

separadas se desprenderán el material, si están muy cerca se combará el corrugado debido a un exceso de pegamento en el material.



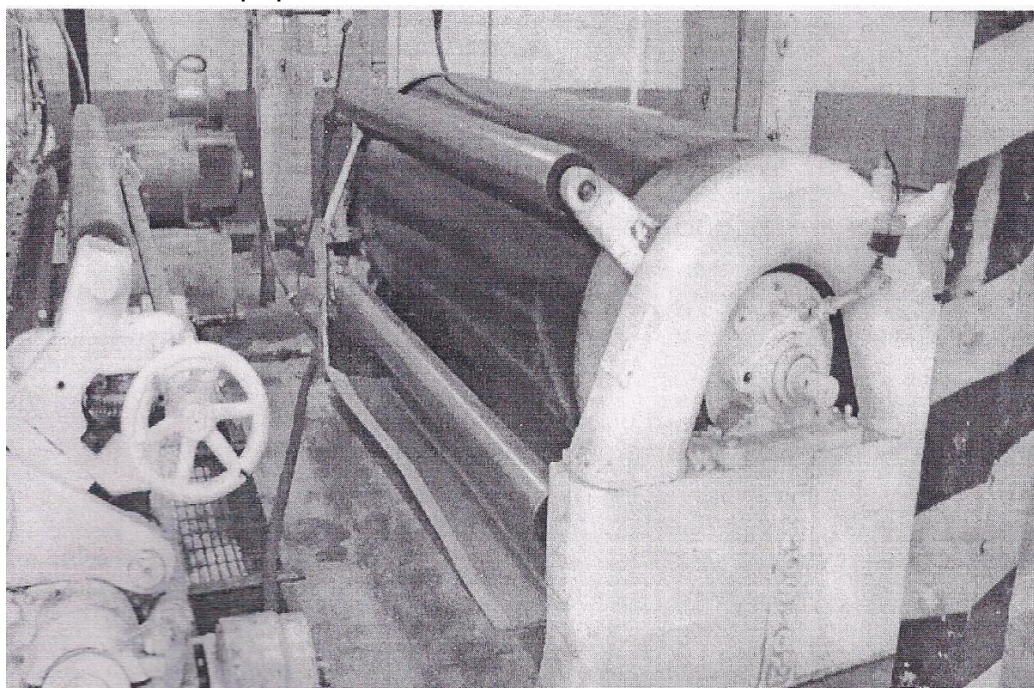
Rodillo Corrugador y guías de goma

Por la característica higroscópica del corrugado, el material depende de la temperatura y de la humedad relativa, si existe humedad en el material se presentara inevitablemente una disminución de resistencia y un notable combado el cartón. Se prefirió ensayos reproducibles en las condiciones ambientales normalizadas. La temperatura fue de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una humedad del $50\% \pm 5\%$. Se debe observar en la maquinaria la existencia de un precalentador que permite eliminar o incluso agregar humedad al liner, la intención del proceso es amoldar el papel de acuerdo a la presencia de franjas de humedad o bien agregar humedad cuando se presenta un rollo de papel reseco. (Este tipo de papel produce rompimientos en la manipulación de las láminas de cartón).



Precalentado de papel

El precalentador tiene la función de homogeneizar la humedad del papel, normalmente las franjas de humedad que se generan desde el proceso de origen de la formación de papel produce problemas de procesamiento de corrugado. El desarrollo de la flauta del corrugado se ve afectado por la composición del material, es entonces cuando la temperatura de 75 a 100 °C del rodillo precalentador evapora los excesos de humedad que presente el rollo de papel.



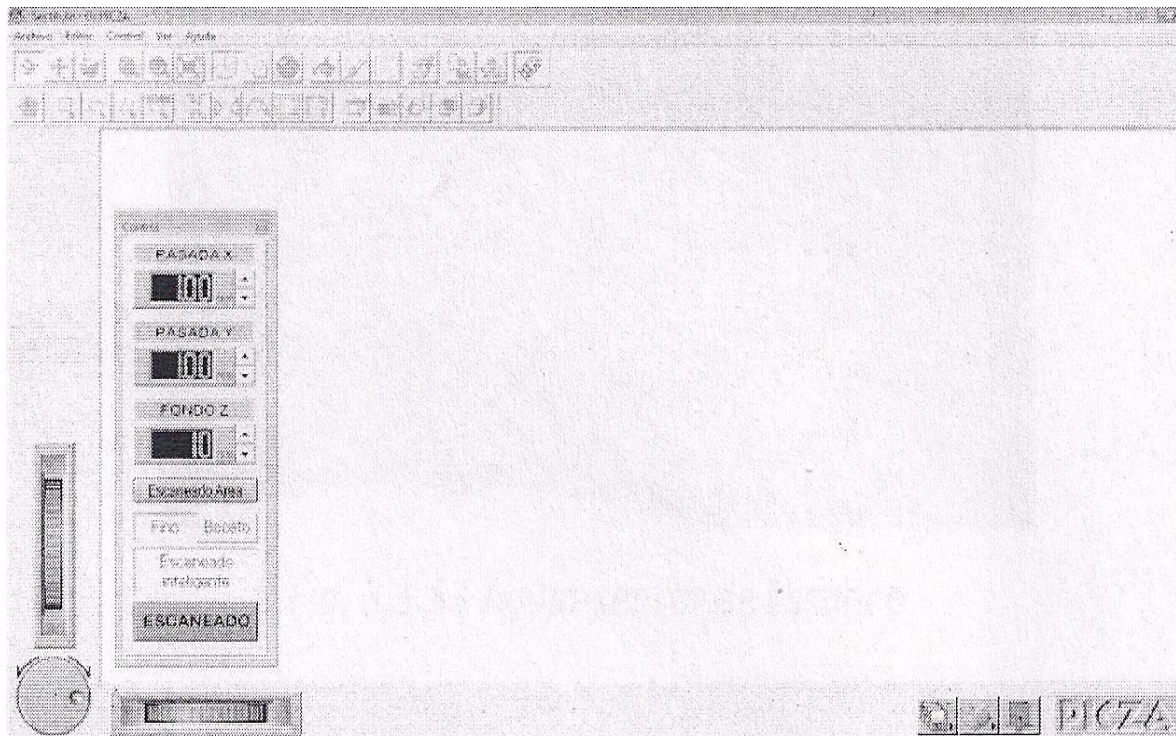
Rodillo precalentador

3.6 Creación del modelado virtual y conversión al ambiente CAD

Capacidad de definir las habilidades del sistema por el instrumento adecuado.

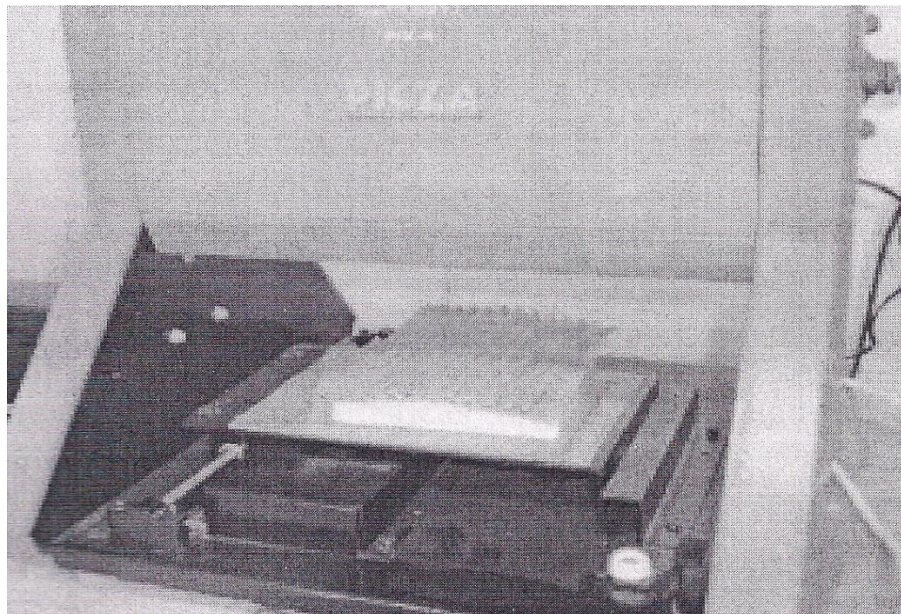
La elección del scanner permite reconocer las características de la flauta tipo C, la distancia entre flautas y la altura de la misma flauta entre otros factores, lo cual hacen de este instrumento le adecuado para el estudio.

La metodología que se propuso para la medición en este estudio y que involucro ocupar este instrumento inicio en definir los parámetros iniciales del software de uso (en este caso el DrPicza), como cualquier maquina CMM, es fundamental obtener los limites en los ejes XYZ que retroalimentan al equipo de la intención de la medición.



Área de escaneado del scanner 3D

El uso de los XYZ no es del todo libre, la región máxima del scanner es de 6 x 4 x 2.4 pulgadas, de esta forma para colocar una muestra de corrugado en largo y ancho se ajusto a la medida de 4 x2 pulgadas, sin embargo en la altura Z se ajusto un soporte elevado de 1 pulgada para lograr la ejecución del equipo.



Escaneo de pieza corrugado

El sensor de lectura es una aguja que por medio de contacto obtiene la forma del cuerpo a escanear, se realiza un “barrido” del área designada y se traslada al software del equipo, se crea una simulación del material respetando tanto la composición de la estructura y forma de dicho material, como obteniendo además características de proyección y auxilio para el diseño, que solo en el ambiente CAD se pueden prospectar y obtener una potencialidad del diseño.



Aguja-sensor de escaneo

Capacidad de adaptar las características visuales con los requisitos de selección de equipo en base a la incertidumbre

En cierta medida, la decisión de comparar equipos y la metodología inherente a su proceso de medición en una relación que “equilibre” las capacidades de los instrumentos de medición es la hipótesis preliminar de que los equipos de medición no son los mejores por ser más costosos o más avanzados tecnológicamente, sino por el desempeño en el contexto de condiciones ambientales, exactitud, linealidad, etc.; de las ya comentadas en capítulos anteriores. La estimación de la incertidumbre expresada por la relación de incertidumbre de la unidad medida entre la incertidumbre del patrón muestra un punto neutral, ya que independientemente de las características del equipo, es siempre considerable un grado de duda o de incertidumbre en cualquier forma de lectura.

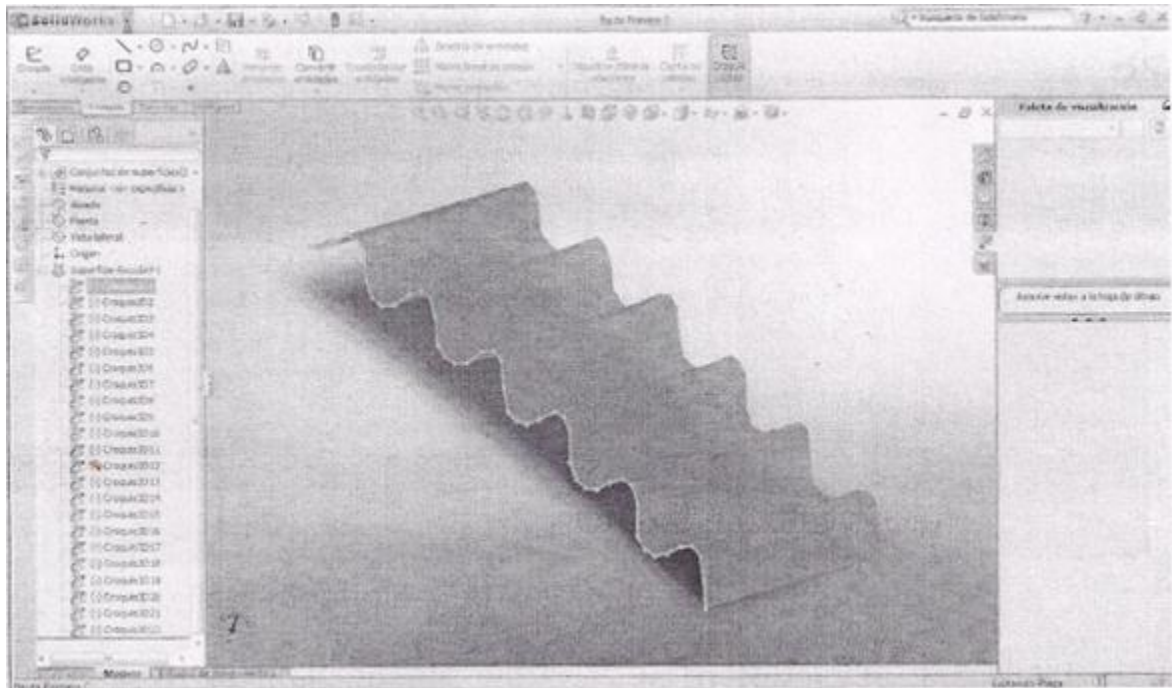
Se define ahora las características de la metodología utilizada y que incluye de manera particular a los siguientes elementos:

Las condiciones de operación incluyeron el factor de temperatura y el de humedad, ya se ha descrito la funcionalidad del termómetro digital. Las lecturas se crearon en condiciones similares a las obtenidas por el método convencional. La temperatura y humedad relativa fueron iguales para el sensor digital, o por lo menos con diferencias despreciables obtenidas con el instrumento, de esta forma el modelo matemático se propone con coeficientes iguales que afectan a los dos términos de expresión.

La exactitud del instrumento se definió por la diferencia entre el resultado esperado como valor nominal y el obtenido por el comando de distancia entre puntos una vez que la nube de puntos escaneados se traslado al ambiente virtual.

Se tomo el software de Solidworks (marca registrada de DSSystemes para profundizar en el diseño mecánico) por las capacidades y compatibilidad prácticamente “ideal” con el software del scanner Picza PIX-4, se pueden hacer un breve paréntesis dentro de este documento para comentar brevemente las opciones alternas; Catia y Solid Edge, para el primero la dificultad de volver compatible los archivos provenientes del software de fábrica que se incluye en el Scanner 3D fue determinante, para el segundo paquete el principal problema recayó en el interfaz con respecto al usuario, si bien SolidWorks y

Solid Edge permiten un estudio profundo del diseño mecánico, el software utilizado en este estudio destaco por su manejo fundamental del uso de superficies.



Contorno escaneado de flauta en solidworks

Creación de mallas y conversión al ambiente CAD

A continuación se muestra la nube de puntos que se ha “enmascarado” en un objeto modelado de superficies. El comando de cota inteligente de solidworks permitió encontrar de manera sencilla los puntos más bajos y de referencia principal del contorno de la flauta. La distancia obtenida se incluye en un estudio estadístico que relaciona los valores reales del material con los presupuestados nominalmente.

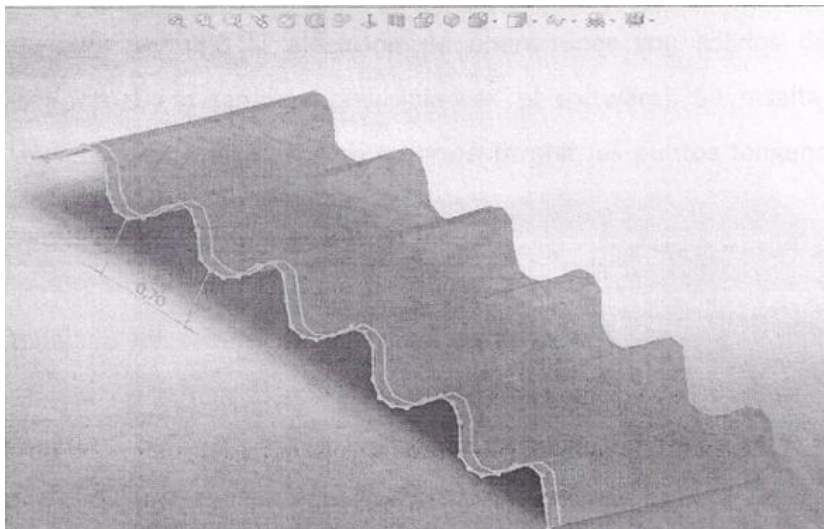
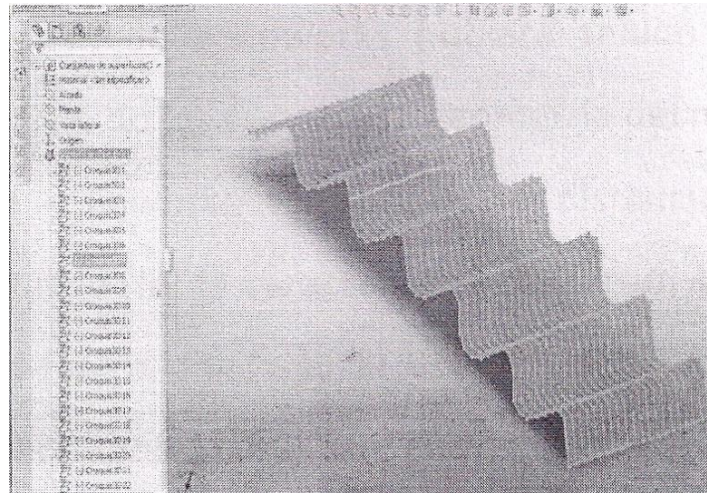


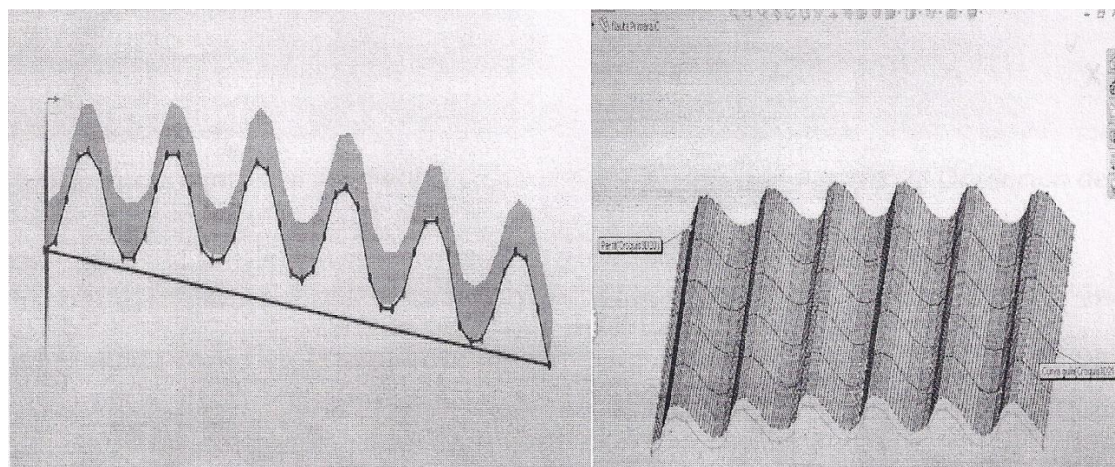
Fig. 3.3.35 Detección de distancia entre flautas en solidworks

Cuando se creó un mallado de material, la metodología indicaba recolectar el mayor numero de observaciones posibles, debe destacarse el hecho de que el scanner no presupone errores ni tendencias del material, es decir, los golpes, abolladuras e incluso desviaciones del rodillo corrugador fueron copiados fielmente al ambiente de CAD, de hecho este punto fue fundamental en la decisión del estudio, no solo se presento en este equipo; también en el vernier digital se marco diferencia con el valor nominal porque las características del material de prueba no eran ideales ni mucho menos perfectas.



Mallado del contorno escaneado

La superficie obtenida por transformación de nubes de puntos represento una geometría de espesor cero, lo cual era previsible por el conocimiento del software. Una curva guía permitió la ejecución de operaciones con sólidos de formas complejas (lo cual era también previsible con el software). Se resalta en este estudio las ventajas de este programa para controlar los puntos tangenciales tan utilizados para el cálculo de distancias.

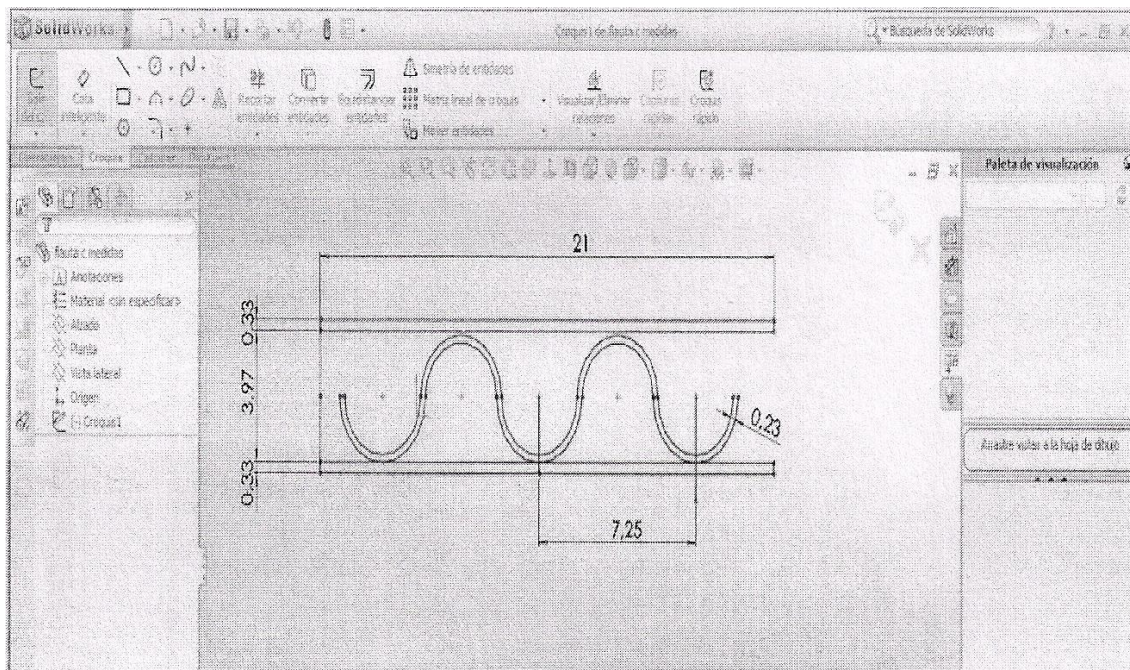


Transformación y escaneo de flauta de corrugado

La extrusión de superficies requirió de un plano de trabajo, no fue necesario crea un perfil cerrado, sin embargo un plano medio mostro los errores de manipulación del material en particular, se había ya comentado en capítulos anteriores los factores que intervienen en la planicidad de la muestra, en nuestro caso el grosor de la superficie y la capacidad del software de obtener distancias ortogonales entre sí fue lo que solvento este inconveniente.

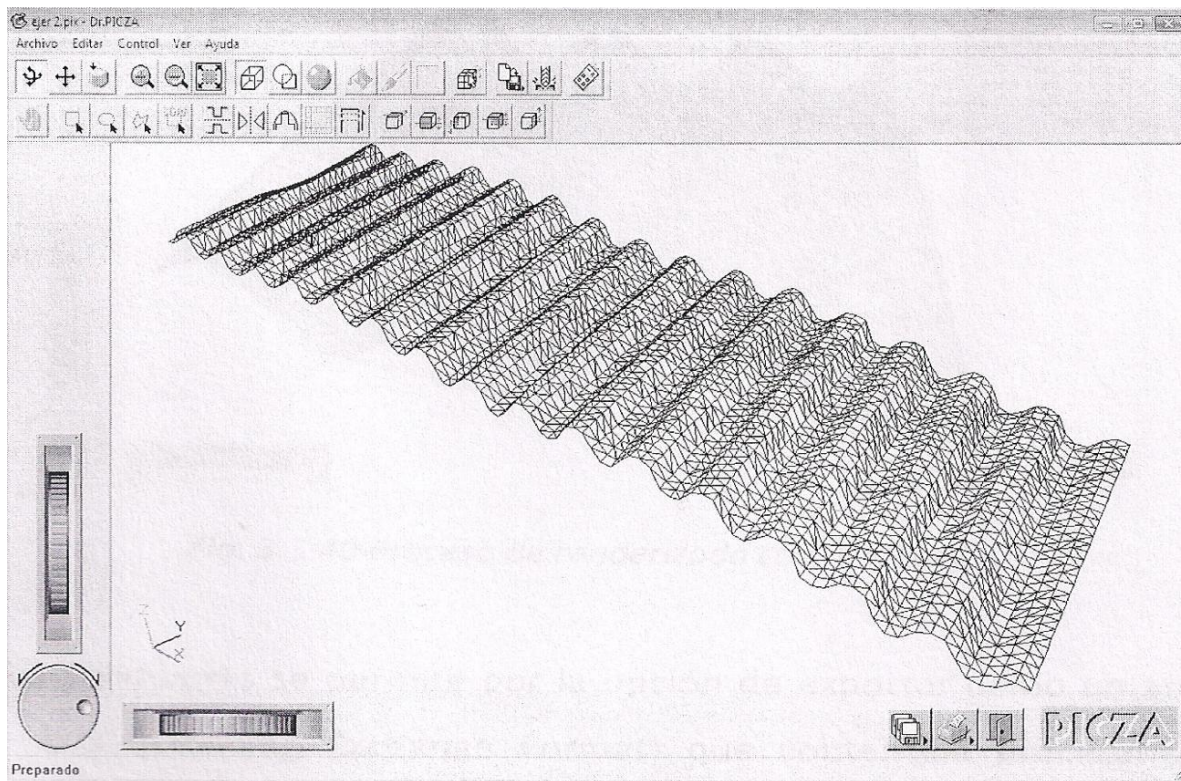
Fue en cierto momento necesario cubrir la nube de puntos en una superficie “rellena”, esta tiene la característica de incorporar geometrías importadas con caras inexistentes; no fue necesario crear parches de superficie, pero de haberlo necesitado solidworks hubiera tenido la capacidad de construir una superficie utilizando las curvas y la geometría del material.

En solidworks se obtiene la distancia entre puntos por el comando de cota inteligente, la característica de ser un software de habilidades paramétricas añade un factor adicional al estudio. Solidworks permite por ejemplo visualizar o bien esconder las cotas que definen las relaciones y restricciones del modelo.



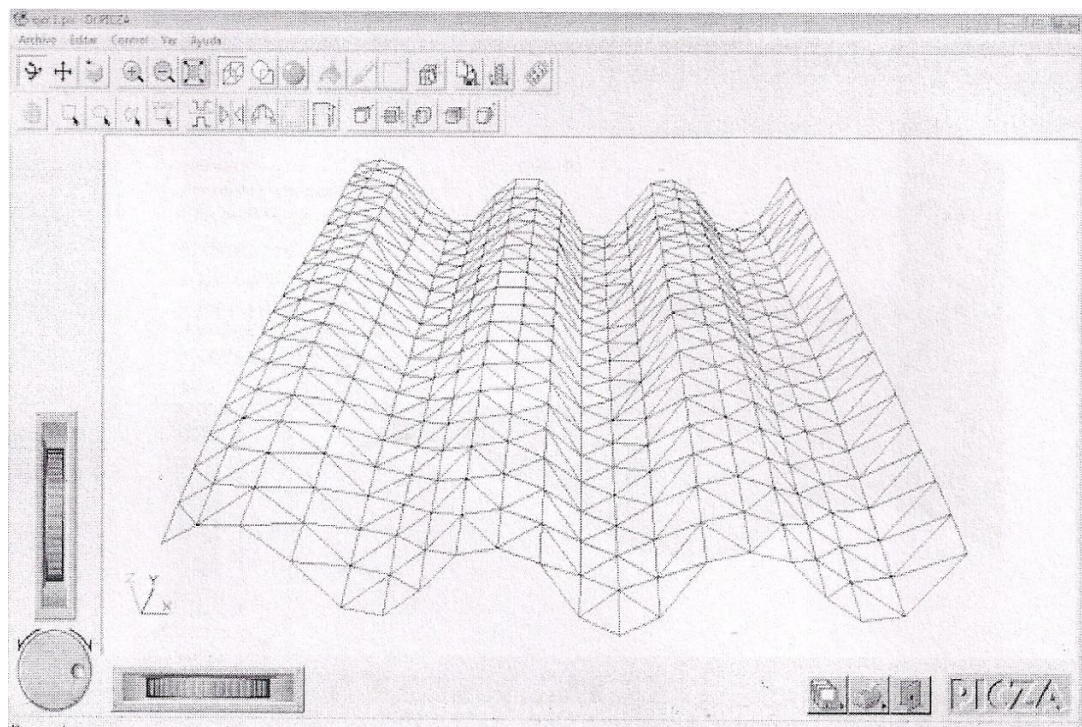
Obtención de distancia entre puntos de Solidworks

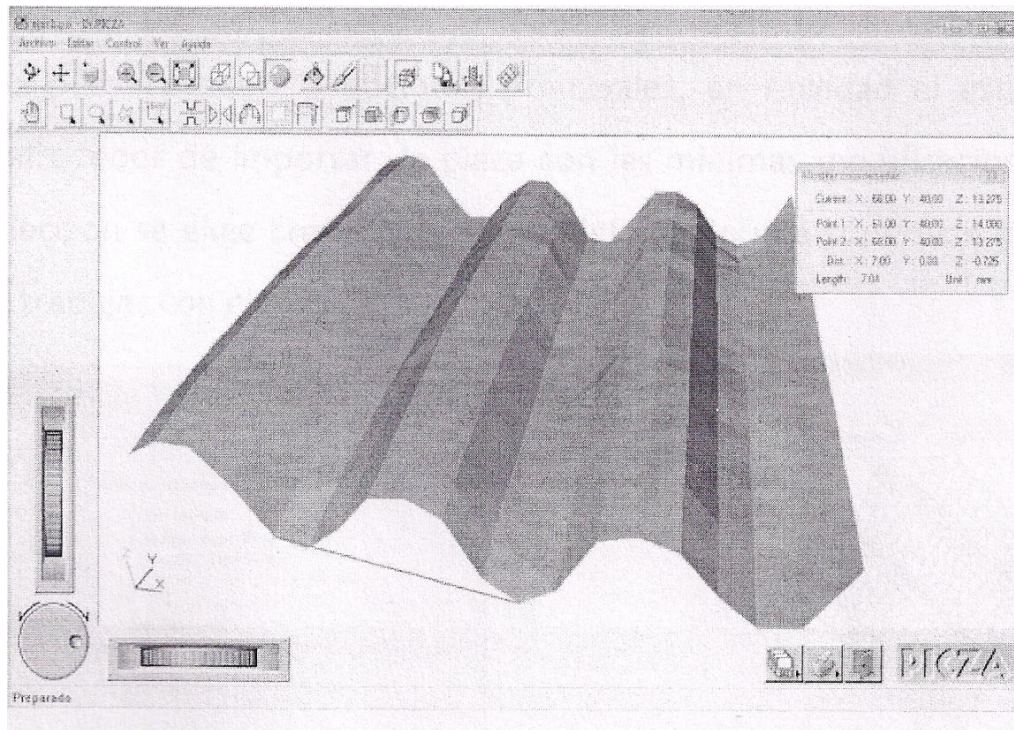
El modelo se importa desde el scanner 3D por el software Picza, el cual convierte las pulsaciones de la aguja sensor en una red mallada como en la siguiente figura:



Escaneado de material corrugado

Cada onda, es reproducida en esta red de mallado, e incluso se permite un renderizado elemental para la mejor presentación del material, donde como se describió anteriormente se logro el cálculo de coordenadas y su respectiva distancia sobre los elementos de control. El tipo de mallado triangular permitió la obtención de los puntos más bajos (valles) para el cálculo de distancia de la flauta.

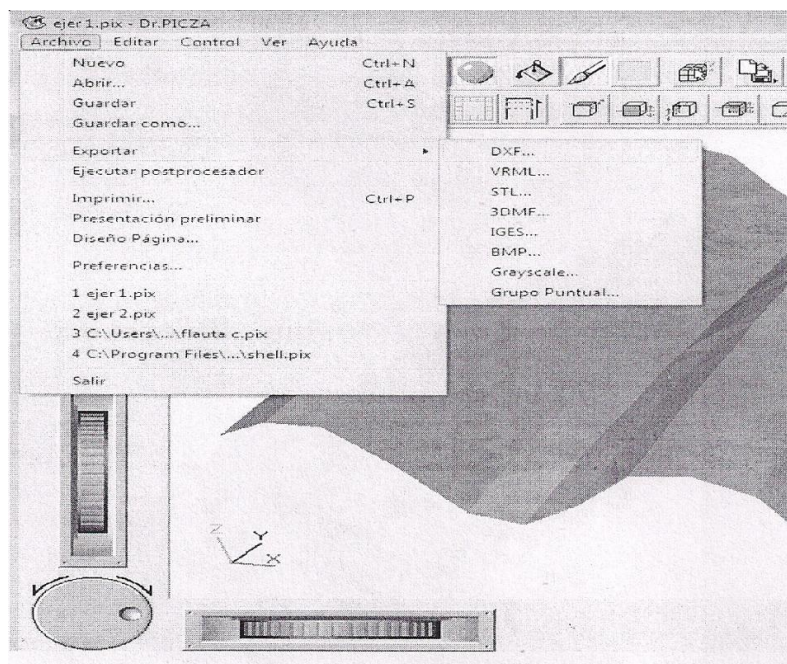




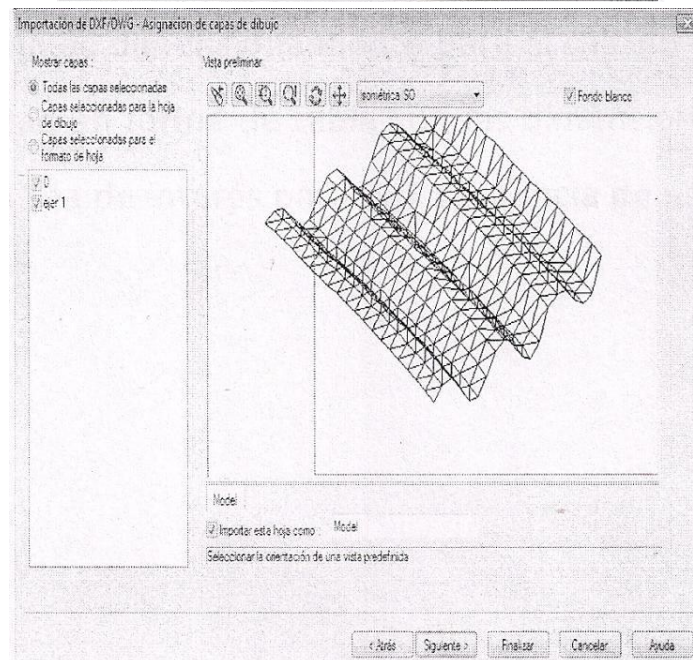
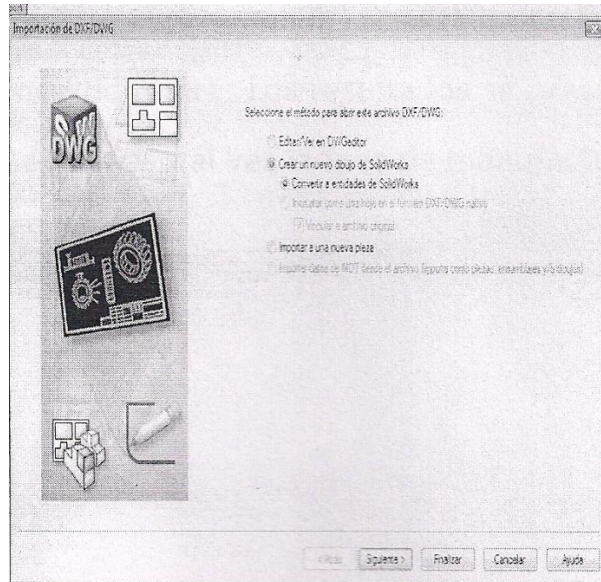
Proceso de renderizado con Dr Picza

El traslado a solidworks se permite por la opción de explorar como un archivo de extensión DFX (drawing Exchange format) que contempla precisamente una extensión de tipo CAD. En el proceso de ingeniería inversa es inevitable el uso del ambiente CAD, sobre todo si es antesala del proceso de maquinado; en este caso nuestro estudio tiene un alcance de propuesta y trabajo virtual, las lecturas se tomaron desde el computador y no se tiene interés en seguir el proceso de manufactura, algo que bien podría hacerse en la continuidad de estudios de la tesina.

Exportación del archivo
Escaneado a solidworks

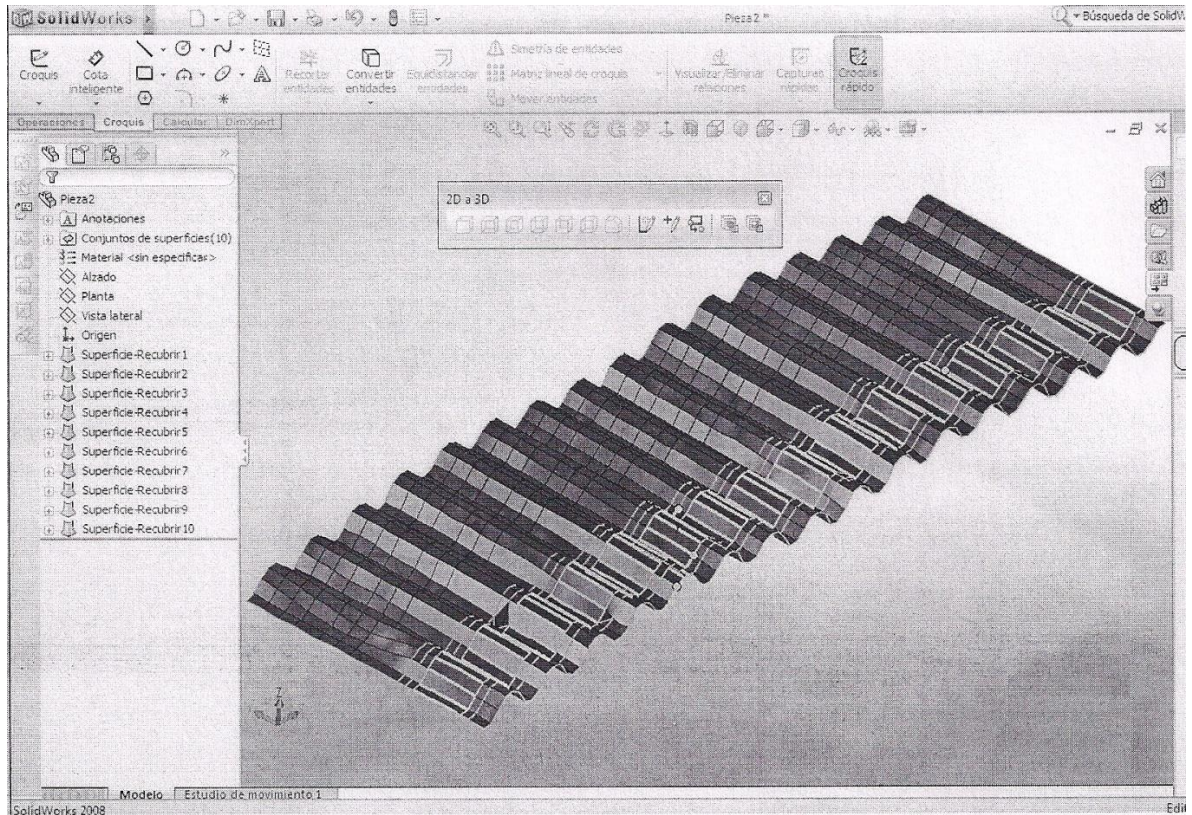


El software permite elegir 3 opciones principales, en realidad el estudio estaba enfocado alrededor de importar la pieza con las mínimas modificaciones, a partir de esta selección se elige crear el nuevo modelo como una superficie de sldw para empezar a trabajar con ella.



Exportación del archivo escaneado a solidworks.

El resultado final presenta una serie de características que permitieron el trabajo virtual sin problemas, dicho de otra forma, no requerimos más que los comandos de medición para medir algo que en realidad solo es una representación de la realidad.



Resultado de exportar a solidworks a partir del scanner 3D

Presentación de valores obtenidos por CAD

El estudio propone los resultados en forma de dimensionamiento para el cálculo de incertidumbre, los resultados se presentan en forma de tabla con las dimensiones señaladas, tal vez la fase de manufactura sea de interés para una secuencia de este estudio.

CAPITULO 4

Resultados

4.1 Evaluación de modelado virtual (con Solidworks)

¿Cómo reconocer la participación del modelo virtual? En particular con la marca de Solidworks el estudio permitió a partir de este software crear una tabla de diseño de cotas y medidas, se canalizaron los valores para utilizarlos en armonía con una hoja de cálculo. El anexo que se presenta al final del documento incluye la base de datos necesaria para este trabajo.

4.2 Prueba de repetitividad

La repetibilidad se puede obtener por distintos software estadísticos o matemáticos, hace tiempo uno de los problemas principales era sortear la cantidad de cálculos y recopilación de datos, sin embargo en la experiencia de este estudio se sorteo con relativa facilidad la cantidad de cálculos y el reto se traslado al momento de análisis de los datos.

El método fue de gran importancia; tomar con una mano o con dos, repercutía en el resultado, debe recordarse que la finalidad del estudio en este punto no fue realizar un método que obtuviera la rapidez de lectura sino que asegurar la lectura sin variabilidad de método. Depender en lo mínimo del operador fue vital en el estudio, la significación de incertidumbre ciertamente contempla las fuentes de incertidumbres, pero podría dejarse la puerta abierta a un estudio futuro especializado de cada una de estas variables.

La repetibilidad del instrumento se determino por un solo operador (un estudio de reproducibilidad si necesita la intervención de más de un operador) realizándose varias mediciones con base en una medida nominal o patrón de medida.

El resultado de las lecturas en el análisis de repetibilidad se muestra en la siguiente tabla:

PartNumber	Appraiser 1 (único vernier)				
	Measurements				
	1	2	3	X	R
1	6.15	6.35	6.19	6.230	0.200
2	6.55	6.80	6.19	6.307	0.370
3	6.25	6.22	6.08	6.183	0.170
4	6.28	6.16	6.11	6.183	0.170
5	6.20	6.45	6.20	6.307	0.250
6	6.19	6.38	6.20	6.257	0.190
7	6.08	6.19	6.27	6.180	0.190
8	6.18	6.45	6.38	6.337	0.270
9	6.25	6.38	6.19	6.273	0.190
10	6.28	6.19	6.28	6.250	0.090
11	6.20	6.18	6.31	6.230	0.130
12	6.19	6.35	6.19	6.243	0.160
13	6.08	6.24	6.22	6.180	0.160
14	6.18	6.28	6.16	6.207	0.120
15	6.22	6.20	6.45	6.290	0.250
16	6.16	6.19	6.37	6.240	0.210
17	6.45	6.08	6.20	6.243	0.370
18	6.38	6.12	6.09	6.217	0.290
19	6.19	6.28	6.38	6.283	0.190
20	6.19	6.33	6.19	6.237	0.140
Average				X ₁ = 6.2438	
Range				R ₁ =	0.2055
Desv. Std				D.Std= 0.1058	

Tabla. Resultados de lecturas por vernier.

La incertidumbre debida a la repetibilidad se evaluó con el estadístico de desviación estándar y bajo la consideración de distribución normal

$$U_{rep} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (39)$$

De donde sustituyendo:

$$U_{rep} = \frac{0.1058}{\sqrt{60}} = 0.0136587 \text{ mm} \quad (40)$$

De la misma forma para las lecturas obtenidas en el scanner la tabla obtuvo los siguientes resultados:

Appraiser 2 (Scanner 3D)				
Measurements				
1	2	3	X	R
8	8	8.07	8.023	0.070
8.04	8.09	8.04	8.057	0.050
8.06	8.02	8.07	8.050	0.050
8.03	8.03	8.03	8.030	0.000
8	8	8.01	8.003	0.010
8.09	8.09	8.09	8.090	0.000
8.08	8.06	8.03	8.057	0.050
8.07	8.03	8.01	8.037	0.060
8.07	8.02	8.09	8.060	0.070
8	8.09	8.01	8.033	0.090
8.09	8.01	8.04	8.047	0.080
8	8.03	8.06	8.030	0.060
8.04	8.02	8.03	8.030	0.020
8.06	8.09	8	8.050	0.090
8.03	8.02	8.09	8.047	0.070
8	8.02	8.08	8.033	0.080
8.09	8.05	8.03	8.057	0.060
8.09	8	8	8.030	0.090
8.07	8.09	8.02	8.060	0.070
8.01	8.04	8.08	8.043	0.070
X ₁ =			8.0433	
R ₁ =				0.0570
D.Std=			0.033	

$$U_{rep} = \frac{0.0330}{\sqrt{60}} = 0.004260 \text{ mm} \quad (41)$$

La contribución de la incertidumbre por repetibilidad es muchas veces cotejada con la incertidumbre por resolución, en algunos estudios se toma el valor más alto de las dos opciones, en el caso de este estudio se contemplan dentro de las fuentes de incertidumbre la contribución de ambas.

Incertidumbre Combinada

La incertidumbre combinada agrupa los valores de incertidumbre de cada una de las contribuciones antes descritas con la finalidad de definir por completo al mensurando. El aporte de cada fuente de incertidumbre tiene relación directa con su propia incertidumbre estándar. Ya se comento la importancia del coeficiente de sensibilidad

con respecto a la magnitud medida. El aporte de este trabajo se enfoca en el adecuado nivel de influencia que tiene el modelo matemático planteado con la relación funcional del coeficiente de sensibilidad.

De acuerdo a la ley de propagación de errores la forma de la ecuación será:

$$U_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\delta f}{\delta x} \right)^2 * U^2(xi) \quad (42)$$

Si desglosamos los conceptos de cada una de las incertidumbres y planteamos como incertidumbre estándar aquella que no implica su coeficiente de sensibilidad como lo pide la ley de propagación de los errores, entonces se puede simplificar notablemente la expresión, aunque sea solamente momentánea dicha simplificación, de esta forma la expresión simplificada presume la contribución de los siguientes conceptos:

$$U_{(X)} = \sqrt{U_{Repet}^2 + U_{Resot}^2 + U_{Abbe}^2} \quad (44)$$

La incertidumbre Tipo A debe a su vez concentrar la contribución de fuentes de incertidumbre tales como la obtenida por la repetibilidad, mientras la incertidumbre Tipo B incluye la resolución, el error de Abbe, los efectos térmicos y los del patrón utilizados. De esta forma se obtuvo la expresión para el vernier:

Incertidumbre del vernier digital

$$U_{(lv)} = \sqrt{0,0136587^2 + 0,011547^2 + 0,00754716^2} = 0,0194126999 \text{ mm} \quad (45)$$

Incertidumbre del Scanner 3D

$$U_{(lv)} = \sqrt{0,0042602^2 + 0,0180421^2} = 0,018538249 \text{ mm} \quad (46)$$

Incertidumbre del coeficiente de expansión térmica (bajo una distribución rectangular)

$$U_{av}^2 = \frac{11,5 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 6.6395^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \quad (47)$$

Incertidumbre del diferencial de humedad suponiendo una condición controlada de $25\pm 1^\circ\text{C}$ asignado a una distribución rectangular

$$U_{(\delta H)}^2 = \frac{1^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.57735 \quad (48)$$

Incertidumbre del diferencial de los instrumentos seleccionados asignando una distribución rectangular.

$$U_{\delta\alpha}^2 = \frac{11,5 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 6.6395 \times 10^{-6} \quad (49)$$

Incertidumbre del diferencial de los instrumentos asignando una distribución rectangular y suponiendo condiciones ambientales controladas de temperatura con rango $\pm 1^\circ\text{C}$.

$$U_{\Delta T_{sc}}^2 = \frac{2^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 1.1547 \quad (50)$$

Utilizando la ecuación (24) las incertidumbres evaluadas para obtener la incertidumbre combinada final se tiene el modelo siguiente que se utilizara en el presupuesto de incertidumbre final.

$$U_{(\epsilon)}^2 = (1 + \alpha_v \delta T + \delta H)^2 U^2(l_v) + (\delta T l_v)^2 U^2(\alpha_v) + (l_v - l_{sc})^2 U^2(\delta H) + (-1 - \delta\alpha \Delta T_{sc} - \delta H)^2 U^2(l_{sc}) + (-1 - \delta\alpha \Delta T_{sc} - \delta H)^2 U^2(l_v) + (-1 - \delta\alpha \Delta T_{sc} - \delta H)^2 U^2(l_{sc}) \quad (51)$$

La expresión " $(1 + \alpha_v \delta T + \delta H)^2 U^2(l_v)$ " es el desglose del análisis de incertidumbre que hace referencia a la variación de temperatura y humedad que afectan al vernier. Caso parecido pero en referencia al scanner es la expresión " $(-1 - \delta\alpha \Delta T_{sc} - \delta H)^2 U^2(l_{sc})$ ".

Considerando la variación de humedad con respecto a la diferencia de longitudes de los 2 equipos (de 150 mm para el vernier y 152.4 mm para el scanner) de la expresión (51), entonces el cálculo de la incertidumbre combinada se expresa por lo siguiente:

$$U_{(\epsilon)}^2 = (1 + (1.15e - 6)(2))^2 (0.0194126)^2 + (300^2)(6.6395e - 6)^2 - ((1.15e - 6)(2))^2 (0.01853824)^2 - [(152.4)(1.1547)]^2 (6.6395e - 6)^2 - [(152.4)(1.15e - 6)]^2 (6.6395e - 6)^2 \quad (52)$$

$$U_{(\varepsilon)}^2 = 0.000376841 + 0.000003967 - 0.0000013651 - 0.00000004095 = 0.00003573495 \text{ mm} \quad (53)$$

Incertidumbre Expandida

Se considera ahora un factor de cobertura en forma de la constante K;

$$U = KU_c(y) \quad (54)$$

Donde K puede tomar el valor de 2 o 955%, o bien el valor de 3 que equivale al 99.7% de confianza según la aplicación de la prueba.

$$U_{(\varepsilon)} = 0.00597787 (2) = \mathbf{0.011955574 \text{ mm}} \quad (55)$$

4.3 Presupuesto de Incertidumbre

Este presupuesto es una especie de “estado de resultados” en donde se cotejan y plasman los balances de las fuentes de incertidumbre involucradas. Este resumen de forma tabular se establece para instrumentos de media exactitud. En las columnas del presupuesto de incertidumbre se describen a detalle conceptos fundamentales del análisis tales como el tipo de contribuyente y la distribución asociada a estos contribuyentes, así como también se debe incluir valor de la incertidumbre estándar en relación al coeficiente de sensibilidad inherente a la fuente de incertidumbre.

No.	PRESUPUESTO DE INCERTIDUMBRE									
	VARIABLE		INCERTIDUMBRE					COEF. DE SENSIBILIDAD	INCERTIDUMBRE ASOCIADA	
	SIMBOLO	VALOR	TIPO	FUENTE	DISTRIBUCION	VALOR	UN.	VALOR	δ	IMPACTO
1	Lectura de Vernier					0.0194127		1.00000232	0.000376855	263.65%
2	Repetibilidad Vernier		A	Mediciones	Normal	0.0136587	mm		0	0.00%
3	Resolución Vernier		B	Especificación de fabricante	Rectangular	0.011547	mm		0	0.00%
4	Error de Abbe		B	ISO 286-2	Rectangular	0.00754716	mm		0	0.00%
5	Coef. De expansión térmica	2	B	Catálogo	Rectangular	6.6395E-06	1/°C	300	3.96747E-06	2.78%
6	Diferencia entre temperatura de los instrumentos	2	B	Condiciones del ambiente	Rectangular	1.1547	°C	3.07E-08	1.25747E-15	0.00%
7	Diferencia de coef. De expansión térmica	2	B	Condiciones del ambiente	Rectangular	6.6395E-06	°C	30967.6511	0.042275357	29576.48%
8	Lectura de Scanner		B		Rectangular	0.01853824		1.0000023	0.000343668	240.44%
9	Resolución scanner		B	Especificación del fabricante	Rectangular	0.0180421	mm		0	0.00%
10	Repetibilidad Scanner		A	mediciones	Rectangular	0.0042602	mm		0	0.00%
11	Error de lectura de los instrumentos									

CONCLUSIONES

Este estudio ha realizado la comparación de dos instrumentos de medición. No ha sido una competencia que involucre el prestigio de fabricantes, más bien fue una autocrítica al proceso de medición y por supuesto al interés principal de trazabilidad que se enriquece con la obtención de incertidumbre.

- La estimación de incertidumbre debe ofrecer como producto un presupuesto que guíe el análisis del proceso de medición. El modelo matemático y las consideraciones para un desarrollo, tales como el tipo de distribución y selección de equipo entre otras responden a la necesidad planteada como objetivo inicial.
- Las características analizadas confirman el comportamiento del material corrugado y su interacción con los equipos utilizados, tal como se propone en la ecuación (51); la humedad, la presión, y la temperatura rigen el proceso de corrugado y deben incluirse inevitablemente en los procesos de medición. De esta forma se consideran las limitantes metrologías de los equipos utilizados que radican en la definición correcta del mensurando, en el método de medición utilizado y en la inclusión de fuentes de incertidumbres según el contexto ambiental.
- Debido a que el análisis de incertidumbre se fundamenta en la estadística, y de acuerdo al cálculo de repetibilidad, se puede correlacionar un valor de incertidumbre menor cuando se “enriquece” el número de repeticiones por ejemplo, que agregando cualidades tecnológicas a los instrumentos. En este sentido el scanner 3D obtiene un valor menor ayudado por el método de medición que permite menor variabilidad en los datos recopilados.
- El proceso de corrugado y en general la industria papelera está marcada por una variabilidad casi “tradicional”, en este contexto el cálculo de exactitud y obtener el margen de error ya sea con los métodos convencionales o los referidos a ingeniería inversa parecen tener poco eco y los patrones ideales se vuelven los obtenidos por datos históricos dentro del mismo proceso.

- La aplicación de ingeniería inversa debe incluirse dentro de los estudios metrológicos con mayor regularidad de la existente, sin embargo, debe asegurarse el traslado de la información entre los diferentes software, así como la compatibilidad de resultados.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Eusebio J., Víctor Manuel Mtez., Luis Andrés Vázquez. “Algunas consideraciones sobre la metrología Automatizada y sus relaciones con la ingeniería inversa” CINNTRA (2009).
- [2] Wolfgang Schmid, Rubén J. Lazos, Guía para estimar la incertidumbre de la medición, CENAM, EL marqués, Querétaro (2000).
- [3] Benjamín Austin Barry, *Errors in Practical Measurement in surveying, Engineering and Technology*, Ed M.D. Morris P.E. (1997).
- [4] HéctorGonzález Muñoz, Ejercicios de estimación de Incertidumbres en Mediciones, CENAM, El marqués, Querétaro (2001).
- [5] Ramón Zeleny, Carlos González, Metrología, Mc Graw Hill, ISBN 9789701020760, México (1998).
- [6] Mario F. Triola, Estadística, Ed. Pearson ISBN 9789702612872, México (2009).
- [7] Alfredo Elizondo Decanini, Manual de Aseguramiento Metrológico Industrial, Ed. Castillo ISBN 9687415533, Mty, México (1996).
- [8] C. Castellanos, Mario Díaz O., Ma. Delgado B., Ramón Zeleny, Guía Técnica sobre Trazabilidad e Incertidumbre Metrológica Dimensiona, CENAM, El marqués, Querétaro (2004).
- [9] J. Antonio Rodríguez T., Embajales de Cartón Corrugado Ingeniería y Diseño, Instituto Mexicano de Profesionales del Embalaje (impee), México (2004).
- [10] Norma ISO 286-1
- [11] RamónZeleny, Carlos González, Metrología Dimensional, Mc Graw Hill, México (1998).
- [12] Sergio Gómez Glez., El gran Libro de SolidWorks, Marcombo-Alfa Omega, ISBN 9789701513033, México (2009).