

Centro Tecnológico de Desarrollo Regional
Facultad Regional San Rafael - Universidad Tecnológica Nacional
Los Reyunos, San Rafael, Mendoza, Argentina

**MEJORA DEL PROCESO DE CONTROL DEL ESPESOR
RESIDUAL DE LA LÍNEA DE FRAGILIZACIÓN DE LA PIEL DE
COBERTURA DE TABLEROS DE AUTOMÓVILES; PARA EL
CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE AIRBAG**

Marani, Luciano

Universidad tecnológica Nacional, Facultad regional Santa Fe.

Lavaise 610 - S3004EWB Santa Fe - Argentina.

luciano_marani@hotmail.com.

RESUMEN

El proceso al que se hace referencia en el título del trabajo es el que permite el correcto despliegue del sistema de airbag en cierta familia de productos. Esta familia es la de vehículos que cuentan con una piel, natural o sintética, que recubre los tableros.

La operación de fragilización consiste en el mecanizado de una ranura en forma de ventana en la superficie inferior de la piel. La forma actual de validar el producto es destructiva y requiere de la toma de muestras para luego ser vistas al microscopio de forma transversal al recorrido de la línea.

El principal objetivo del trabajo es proponer métodos no-destructivos válidos, manteniendo o mejorando la performance del ensayo.

Además de la investigación de alternativas disponibles y posterior ensayo, se define la forma de comparar las distintas propuestas. En este proceso se encuentra que los estudios de repetitividad y reproductibilidad, clásicamente usados para comparar métodos de medición, no son aptos para este caso, dadas las características geométricas de la pieza. El método adoptado resulta ser el propuesto en la norma CNOMO E41.36.110.R.

Una vez definida la metodología, se obtiene un CMC para distintas alternativas, según disponibilidad de los dispositivos. Los resultados más interesantes corresponden a un perfilómetro laser 2D y a un captor por efecto Hall.

La propuesta, posteriormente adoptada por la Empresa, es el perfilómetro laser 2D.

Con el reemplazo del método de control propuesto, se cumple con el objetivo de discontinuar el ensayo destructivo, con lo que se obtienen beneficios de costo de desecho, se actúa a favor de la Calidad Ambiental y Responsabilidad Social Empresaria y se mejora la calidad del proceso de control. Esto último se debe a que al no inutilizar las piezas ensayadas, se logra mayor flexibilidad en la selección de piezas a ser testeadas.

Se aclara que la organización para la cual se realiza el trabajo se omite deliberadamente por cuestiones de confidencialidad.

Palabras clave:

Ensayo no destructivo
Repetitividad y Reproductibilidad
Línea de fragilización piel
CNOMO E41.36.110.R

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este trabajo es el de mejorar evitar la destrucción de las piezas ensayadas, sin disminuir la confiabilidad, para verificar la aptitud del proceso de fragilización de las pieles que cubren los tableros de a bordo de ciertas gamas de automóviles.

Los objetivos secundarios son el aumento de la confiabilidad en el procedimiento, la disminución de tiempo necesario en su realización y los beneficios económicos.

1.1. Descripción del producto

Si bien el propósito de este trabajo es la mejora de un proceso aplicable a una enormidad de productos, es conveniente trabajar con un paradigma, es decir un caso particular sobre el cual basarse y que permita generalizar los resultados obtenidos a la familia de cosas similares.

La Figura 1, es una fotografía tomada al tablero recién mencionado a fines de dar una mejor comprensión del elemento de análisis.



Figura 1: Tablero de a bordo

Es necesario brindar una simple descripción del proceso productivo de este tablero.

A grandes rasgos, la fabricación de un tablero, se puede dividir el proceso en dos partes: lo que conformará el núcleo del tablero y el recubrimiento, también llamado "piel".

El primer grupo se trata de una cierta cantidad de piezas inyectadas, de PVC; algunas de ellas se someten a procesos de flocado¹, que mejora la terminación e insonoriza las zonas donde es posible el golpe con cuerpos sueltos, tal es el caso del interior de un compartimento porta objetos. Estos elementos son soldados por vibración y conforman el cuerpo principal del tablero.

Cuando se trata de productos de mediana gama, la terminación superficial del plástico inyectado no es suficiente, según la calidad esperada por el cliente. La forma de satisfacer la demanda es forrando la pieza con una piel, de aproximadamente 1 mm de espesor, mucho más agradable al tacto y a la vista. Éste es el elemento que se constituye como objeto de estudio a partir de este punto.

1.2. La fragilización

Este es el proceso central del estudio, más precisamente el ensayo de conformidad del producto a especificaciones.

La fragilización es una disminución de la sección de la piel sintética a lo largo de una línea cerrada que guiará a la bolsa de aire, del lugar correspondiente al acompañante, ante la eventualidad de su accionamiento.

En la imagen que se presenta a continuación se ve una piel completa, donde se marca con una elipse el segmento de disminución de espesor, además un acercamiento a la misma y en última instancia un detalle donde se pretende mostrar que las dimensiones son pequeñas en relación al tamaño de la pieza completa.

¹ Flocado: aplicación de diferentes tipos de fibras o materiales que contienen adhesivos a otros materiales.



Figura 2: *Distintos grados de acercamiento al resultado de la operación de fragilización*

Imaginando esta parte constitutiva en su montaje final dentro de un automóvil, el segmento más cercano al pasajero será el primero en desgarrarse (espesor residual²: 0,65 mm) y la parte transversal a ella, será la última (E.R.: 0,9 mm). Los radios tienen un espesor residual de 0,8 mm y además existen pequeñas zonas de transición entre cada radio y la primera zona en desgarrarse, donde el E.R. varía entre 0,8 mm y 0,65 mm.

Un E.R. demasiado grande dará como resultado un mal funcionamiento del sistema (mayor resistencia al despliegue de la bolsa, mayor cantidad de partículas proyectadas, corte irregular de la piel, etc.); mientras que un espesor por demás de pequeño, resultará en un producto con una no conformidad en el aspecto visual, puesto que la línea de debilitamiento será evidente desde la superficie exterior del tablero.

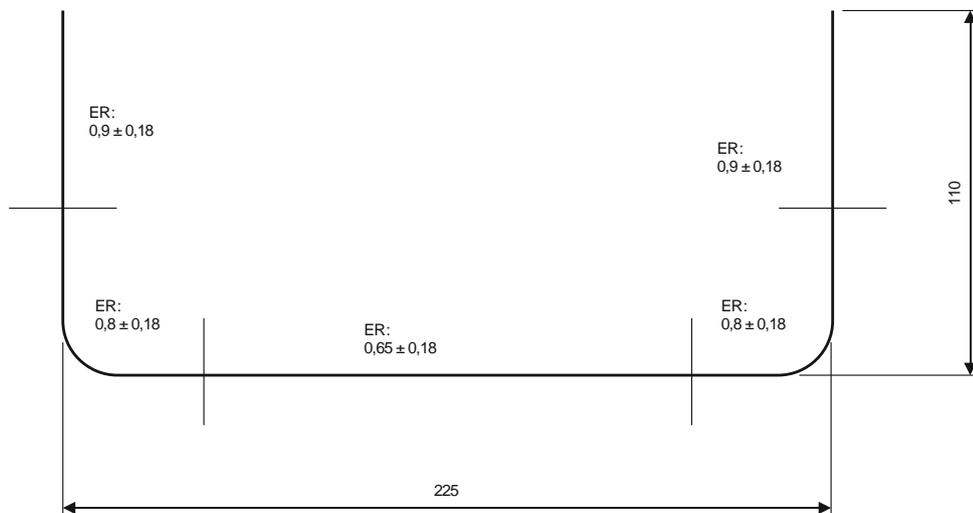


Figura 3: *Espesores residuales a lo largo de la línea de fragilización*

Actualmente conviven dos formas de hacer la línea: estampado en caliente y fresado. La primera alternativa, al ser un proceso sin arranque de viruta, tiene una mejor terminación superficial. Se piensa que esta característica puede provocar mejores resultados en cuanto a proyecciones de partículas en un disparo del Airbag. De todas formas, es algo que no está comprobado empíricamente.

La segunda alternativa es la más avanzada tecnológicamente y cuenta con la gran ventaja de ser un proceso muy flexible. Esto se debe a que no necesita matricería fija y las fresadoras utilizadas, pueden cambiar de especificaciones de trabajo con la sola realización de un ajuste en el software de las mismas, operación de muy corta duración.

La ilustración que se presenta a continuación es una fotografía de la maquinaria usada en el maquinado de la etapa objeto de estudio. A continuación de la misma, en la figura 5 se representa un corte transversal de la reducción de espesor.

² En adelante abreviado como E.R.

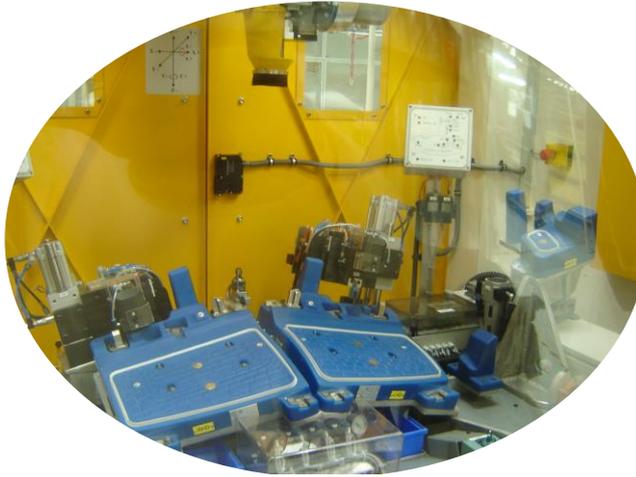


Figura 4: *Fresadora utilizada en la operación de fragilización*

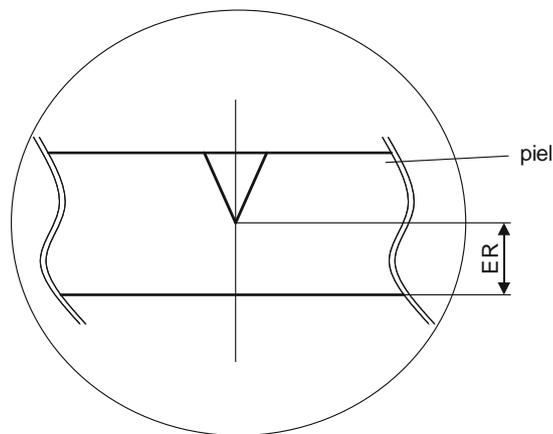


Figura 5: *Detalle de corte transversal a la línea de fragilización*

1.3. Medición de espesor residual piel Airbag

La denominación adoptada en la organización al referirse al método de control del proceso de fragilización es medición de espesor residual de la piel airbag. Se trata de una inspección al microscopio de pequeños trozos de material extraídos del tablero y vistos de forma transversal a la línea de disminución de sección. Cabe mencionar que este test también permite controlar el espesor total de la piel en las cercanías de la entalla.

Es importante comentar que generalmente en este tipo de ensayos destructivos se opta por analizar la primera pieza de cada lote de producción, es decir que mínimamente se verifican 2 piezas por día (en cada cambio de turno). En caso de una no conformidad, se procede a solucionar la causa y efectuar nuevamente el control.

Tomándose como referencia un documento interno de la Empresa, éste se amplía y se detallan los pasos que se efectúan en la comprobación rutinaria:

- **Paso 1: Corte de Muestras**
 - Obtener la pieza verificando que cuente con su correspondiente etiqueta de trazabilidad.
 - Colocar la máscara que indica las muestras y marcar con fibra.
 - Numerar las muestras según la posición según el esquema.
 - Cortar las muestras.
 - Pintar con blanco las entallas y dejar secar.

En la ilustración, las ayudas visuales presentes en el instructivo de la Empresa.



Máscara para corte

Corte de muestras

Operación de pintura

Figura 6: *Obtención de muestras*

- **Paso 2: Preparación de PC y microscopio**

- Encender el microscopio y posicionar el objetivo x2.5.
- Colocar el soporte de la piel en la parte inferior.
- Accionar la aspiración que permitirá el posicionamiento de las piezas.
- Iniciar la sesión en la PC.



Objetivo y dispositivo de sujeción



Acercamiento al objetivo y la pieza y soporte para piel

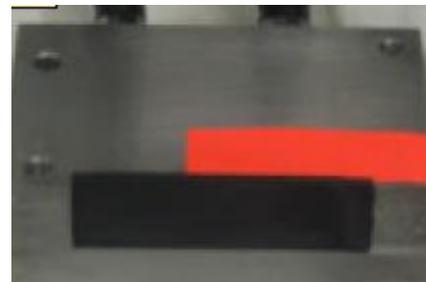
Figura 7: *Microscopio*

- **Paso 3: Preparación de la muestra**

- Desgarrar la pieza tirando por dos costados cuidando que el arrancamiento se produzca sobre la línea de fragilización. El lugar de donde se retiró material en el mecanizado, quedará coloreado con blanco.
- Posicionar la muestra en el soporte. EL lado rugoso deberá estar en contacto con la aspiración y la línea de disminución de sección al ras de la parte superior (Ayuda visual en la ilustración siguiente).



Operación de arrancamiento



Muestra en contacto con el soporte

Figura 8: *Preparación y posicionamiento de la muestra*

- **Paso 4: Apertura de la planilla de registro de datos**

- Abrir el archivo utilizado en el seguimiento del control de calidad.
- Posicionarse inmediatamente después de la última carga.
- Minimizar el archivo

- **Paso 5: Apertura del software de medición y preparación**

- Inicializar el programa “Perfect Image”
- Seleccionar el objetivo x2.5 de la lista desplegable.
- Clickear sobre el botón “adquisición”.

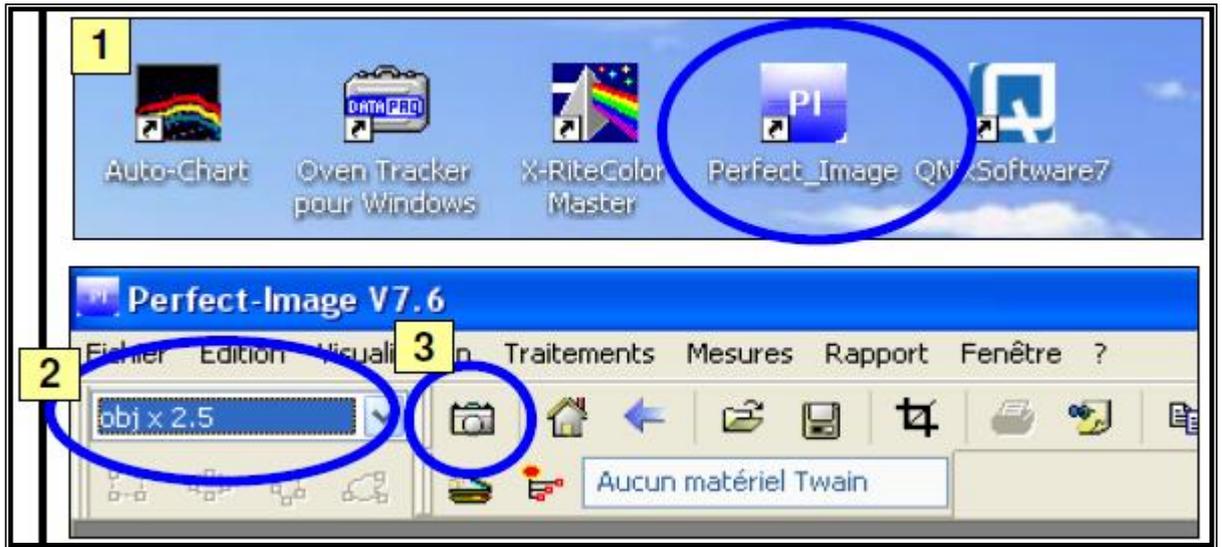


Figura 9: Inicialización del software de medición

- **Paso 6: Obtención de la medida de espesor residual**

- Calibrar la imagen con la ayuda de las perillas de desplazamiento de forma tal de obtener una visualización lo más nítida posible.
- Congelar la imagen, presionando el botón “adquisición”
- Clickear sobre el ícono “Medición manual”
- Clickear sobre la primera celda y luego sobre el encabezado de la columna izquierda (la célula se sombreadá de color verde).
- Con la ayuda del ratón, trazar una línea de inicio a fin de la estricción.

Como se visualiza en la ilustración siguiente, el instructivo tomado como referencia detalla donde se encuentra la perilla de regulación de posición (arriba-izquierda); el ícono con el que se congela la imagen en el programa (arriba-derecha); el botón de la herramienta medición de longitud (centro-derecha); las celdas donde aparecen los valores obtenidos (abajo-izquierda); la imagen congelada sobre la cual se traza la línea con la que se mide (abajo-derecha).

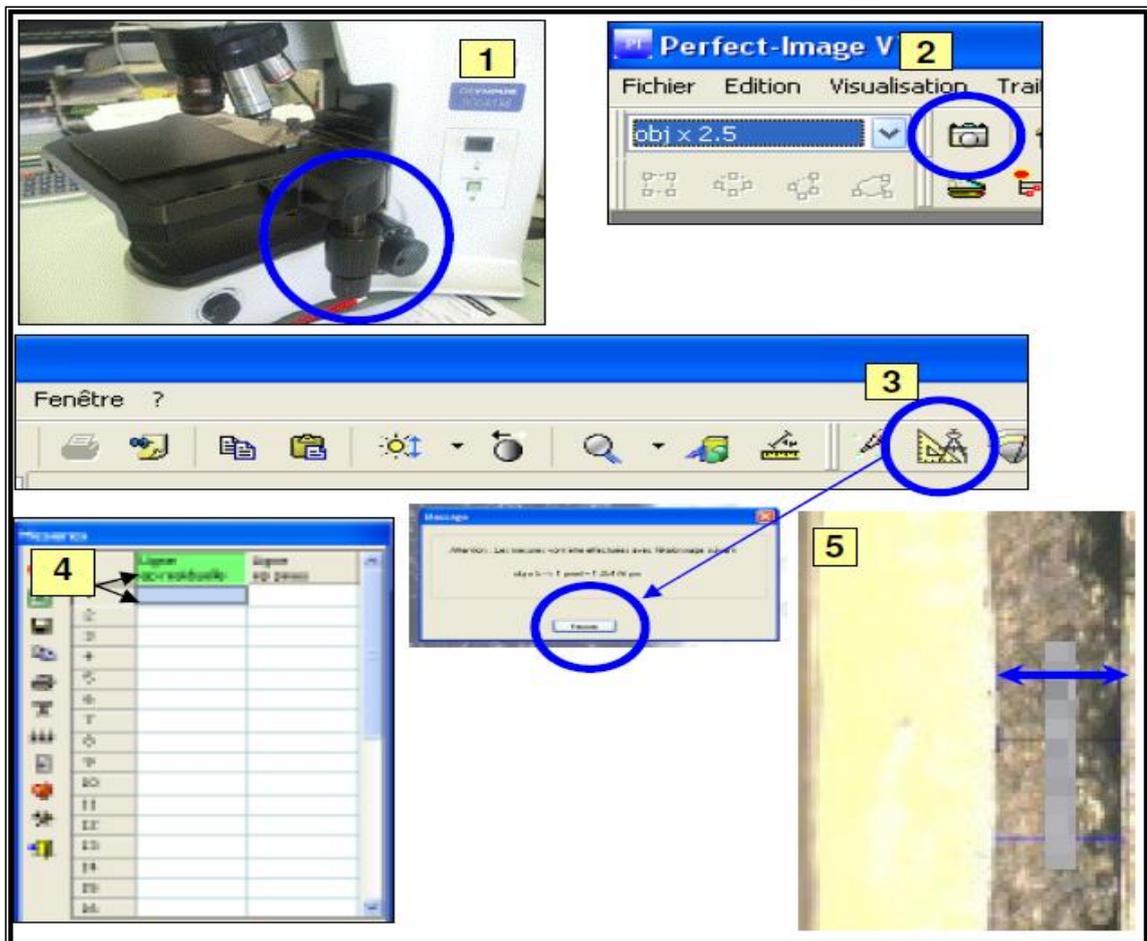


Figura 10: Paso 6

- **Paso 7: Obtención de la medida de espesor total**
 - Seleccionar la primera celda de la segunda columna y luego sobre el encabezado de la columna derecha.
 - Trazar una línea de inicio a fin del espesor total de la piel.

- **Paso 8: Medición del resto de las muestras**
 - Repetir los pasos 3, 6 y 7 en cada uno de los trozos de piel.
 - Prestar especial atención al orden y número de las muestras.

- **Paso 9: Registro de datos**
 - Seleccionar todos los valores presentes en la tabla.
 - Copiar.
 - Pasar a la planilla abierta en el punto 4 y pegar.
 - Completar la columna de datos de la medición con los que figuran en la etiqueta de trazabilidad presente en la pieza.
 - Guardar el archivo.

- **Paso 10: Veredicto**
 - Pasar a la hoja "PV"
 - Verificar el veredicto automáticamente calculado por el software y anotar las observaciones. En caso de que sea necesario imprimir.
 - Adjuntar los datos obtenidos a la planilla "Primera pieza OK".
 - En caso de obtener un resultado "NO OK" alertar al supervisor, detener inmediatamente la producción, analizar causas del problema, asentar observaciones en la planilla electrónica.

2. VALORACIÓN DEL MÉTODO ACTUAL

Se plantea el objetivo de obtener un ensayo no destructivo correspondiente a la fragilización de pieles, adaptable a diversos productos con esta característica y que demuestre una mejor capacidad de medición.

En caso de resultado favorable, otorgaría un importante punto de referencia para los trabajos que serían necesarios en la eliminación del ensayo de tiro de airbag, que como precedentemente comentó, es el ensayo utilizado en la validación del ensamblaje total.

Lo que presenta un problema, que es necesario resolver, es la forma de calificar los procesos de medición. Se define una serie de conceptos comunes al universo del objeto de estudio: las mediciones. También resulta útil contextualizar la medición con el proceso de producción.

En esta sección se procura encontrar formas de calificar el sistema actual, esperando que éstas también brinden la capacidad de poder hacer lo propio con las posibles alternativas de mejora que puedan surgir del devenir del trabajo.

Recordando los riesgos de una medición defectuosa se debe mencionar el rechazo de productos que cumplen especificaciones y la aceptación de productos incorrectos. Estas situaciones pueden darse por dos grandes razones: que los operadores no midan de manera consistente, o que los instrumentos de medición no lo hagan. Además, éstos pueden no estar calibrados correctamente.

Cuando sucede lo anteriormente dicho, se cuenta con un sistema de verificaciones deficiente que puede provocar, por ejemplo, que un estudio de capacidad brinde un resultado de no satisfactorio cuando en realidad sí lo es; también puede tener como consecuencia gastos innecesarios en tecnología de manufactura o lo que más interesa en este caso particular, tener incertidumbre en una característica de calidad de vital importancia en cuanto a seguridad y reglamentaciones. Por lo tanto, se apunta a que la variación del sistema de medición sea lo más chica posible.

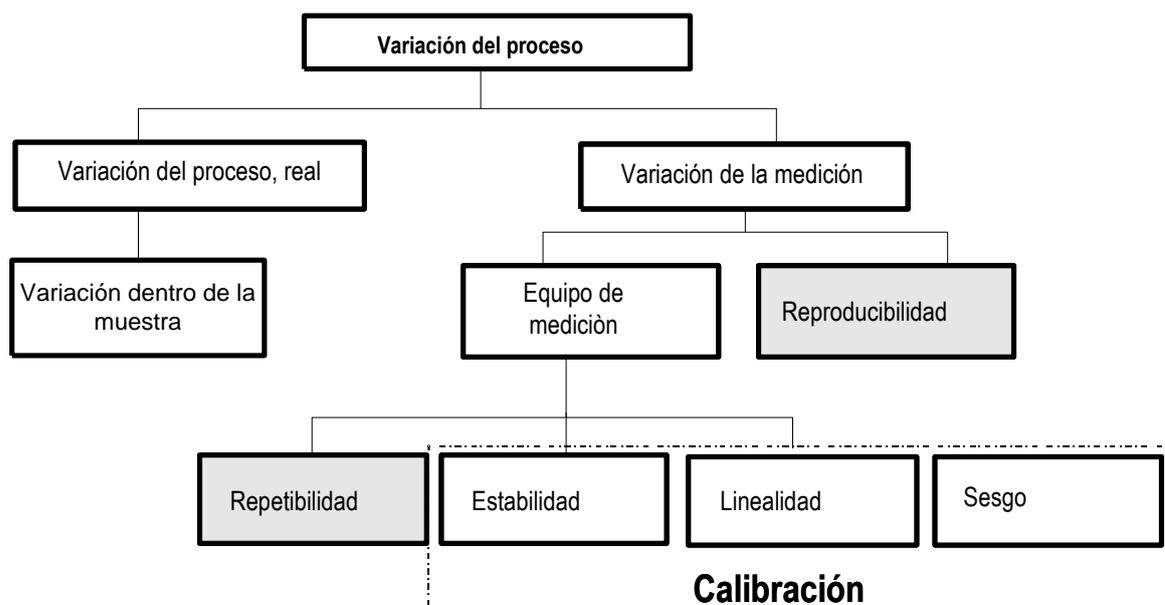


Figura 11: Fuentes de variación en mediciones

2.1. Definiciones

Éstas están basadas en las utilizadas en [2] y [3].

Mensurando: Magnitud particular sujeta a medición.

Valor: Expresión cuantitativa de una magnitud particular, generalmente en forma de una unidad de medida multiplicada por un número.

Magnitud: atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que es susceptible de ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente.

Precisión: habilidad de repetir la misma medida cerca o dentro de una misma zona.

Exactitud: diferencia entre el promedio del número de medidas y el valor verdadero.

Calibración: Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento o sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada o material de referencia y los valores correspondientes de la magnitud, realizados por los patrones.

Reproductibilidad: variación, entre promedios de las mediciones hechas por diferentes operadores que utilizan un mismo instrumento de medición cuando miden las mismas características en una misma parte.

Repetitividad: variación de las mediciones obtenidas con un instrumento de medición, cuando es utilizado varias veces por un operador, al mismo tiempo que mide las mismas características en una misma parte.

Valor verdadero: valor correcto teórico.

Según las anteriores, se concluye que si un proceso de medición es confiable, se debe a que es exacto y preciso. En el caso particular de la medición de espesor residual al microscopio, como en la mayoría de las mediciones, la exactitud se garantiza en un nivel adecuado en la calibración del instrumento.

En el ensayo objeto de análisis, el microscopio utilizado es calibrado cada cuatro meses por un laboratorio aprobado.

En la figura 12 se observan las posibles combinaciones entre precisión y exactitud, representadas con curvas de distribución normal.

Del mismo modo, en la figura 13 se presentan gráficos que pretenden apoyar visualmente los conceptos de repetitividad y reproductibilidad.

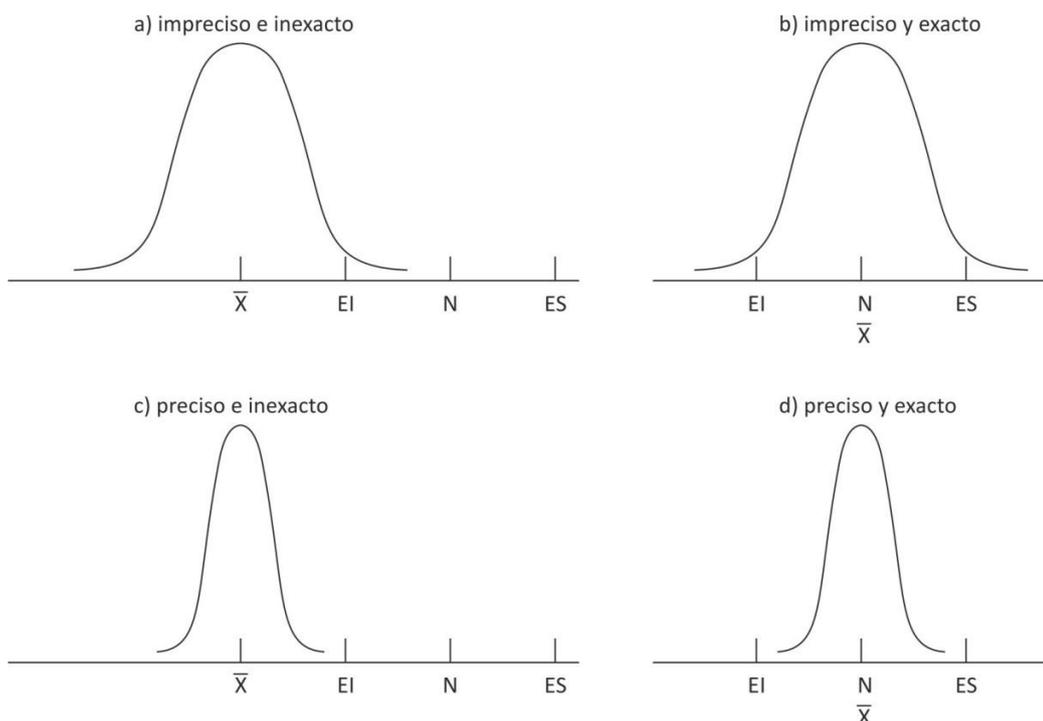


Figura 12: *Precisión y exactitud a través de una curva normal*

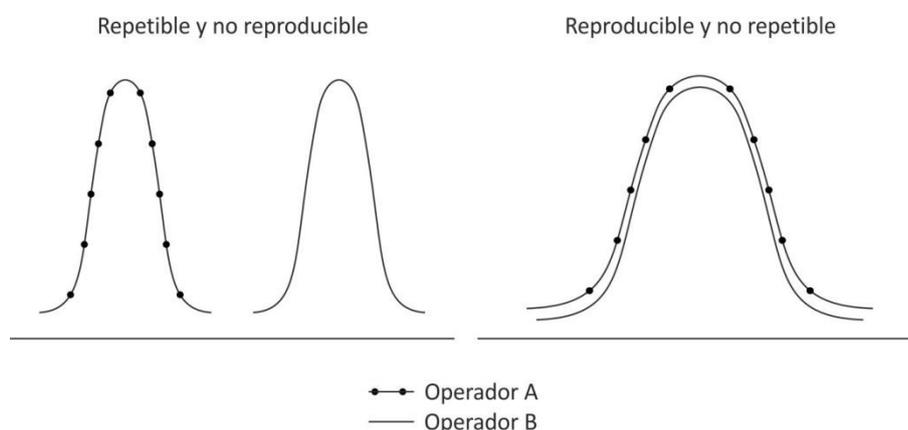


Figura 13: *Repetitividad y reproductibilidad a través de una curva normal*

2.2. Estudio R&R

La herramienta utilizada a fines de calificar la precisión de un sistema de mediciones es el análisis de repetitividad y reproductibilidad, generalmente conocido como **estudio R&R**.

Los fundamentos teóricos de este procedimiento, exceden los alcances de este trabajo. Por este motivo, el trabajo se limita a tratar los puntos fundamentales y a mostrar el uso dado a la herramienta. Detalles sobre la interpretación de los resultados y sobre las distintas variantes de estos análisis se encuentran en la norma ISO 5725-2:1994.

En los estudios R&R se evalúa, de forma experimental, qué porcentajes de la variabilidad total observada corresponden al producto, al instrumento y a los operadores. Además se determina si ésta es mucha o poca, en relación con la variabilidad del producto y con las tolerancias de la característica de calidad medida. En fórmulas:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{total}}^2 &= \sigma_{\text{prod}}^2 + \sigma_{\text{oper}}^2 + \sigma_{\text{instr}}^2 \\ \sigma_{\text{instr}}^2 &= \sigma_{\text{repeti}}^2 \quad \text{y} \quad \sigma_{\text{oper}}^2 = \sigma_{\text{reprod}}^2 \\ \sigma_{\text{R\&R}}^2 &= \sigma_{\text{repeti}}^2 + \sigma_{\text{reprod}}^2\end{aligned}$$

donde:

σ_{total}^2 = varianza total;

σ_{prod}^2 = varianza del producto;

σ_{oper}^2 = varianza del operador

σ_{instr}^2 = varianza de instrumento;

σ_{repeti}^2 = varianza repetitividad;

σ_{reprod}^2 = varianza reproductibilidad;

$\sigma_{\text{R\&R}}^2$ = varianza repetitividad y reproductibilidad;

La metodología es la planteada por Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar en su libro "Control estadístico de calidad y seis sigma"

Los pasos a seguir en el método planteado son:

Obtención de los datos

- Seleccionar dos o más operadores aptos.
- Obtener de forma aleatoria 10 piezas que servirán de mensurandos.
- Decidir el número de repeticiones que efectuará cada operario.
- Etiquetar cada pieza y aleatorizar el orden en el cual serán medidas. Identificar la zona a medir, en el caso de que se trabaje sobre zonas de un mismo elemento.
- Obtener, en orden aleatorio, el primer ensayo del operario A y aleatorizar las partes nuevamente.
- Conseguir las mediciones del operario B y aleatorizar nuevamente.
- Continuar hasta que todos los operarios hayan hecho la primera medición sobre todas las piezas.
- Repetir los tres últimos pasos, hasta completar el número de pasos adoptados.

Procesamiento de datos

En este análisis el objetivo es expresar como porcentaje del intervalo de tolerancias los errores de medición, lo que se consigue mediante los siguientes pasos:

1. Calcular el rango de mediciones en cada operado sobre cada pieza. Es la información directa sobre la repetitividad, puesto que son mediciones de un mismo operador sobre las diferentes piezas.
2. Calcular el promedio de los rangos de cada operador (X_A, X_B, X_C) y la media de todas las mediciones (R_A, R_B, R_C)
3. Obtener la media de los rangos promedio (R) y el rango de las medias (X_{dif}).
4. Calcular el límite superior de la carta de rangos mediante $D_4 \cdot R$, donde R_4 es una constante que depende del número de ensayos utilizados en el cálculo de cada rango. Si algún rango es mayor que este límite, deben repetirse las mediciones involucradas.
5. Calcular la expansión de la varianza del equipo (VE), que resulta de multiplicar 5,15 veces la desviación estándar del error del equipo. La razón de esta expansión se debe a las propiedad de la distribución normal, en la que 5,15 veces la desviación estándar cubre el 99,73% de los casos. Entonces, $VE=5,15 \cdot \sigma_{\text{repeti}} = K_1 \cdot R$. Donde K_1 es una constante que depende del número de ensayos y $\sigma_{\text{repeti}} = \frac{VE}{5,15}$.

6. Determinar la expansión de la variación del operador (VO):

$$VO = 5,15 \sigma_{reprod} = \sqrt{(K_2 X_{dif})^2 - \frac{VE^2}{nt}}$$

Donde K2 es una constante que depende del número de operadores, n es el número de piezas y t es el número de ensayos. $\sigma_{reprod} = \frac{VO}{5,15}$

7. La variación combinada o error de medición (EM) se calcula como:

$$EM = 5,15 \sigma_{R\&R} = \sqrt{VE^2 + VO^2}$$

De esta forma se calcula el error máximo de medición. Aplicando las propiedades de la distribución normal se puede concluir que el verdadero valor de la medición está entre $x \pm \frac{EM}{2}$, con una confianza del 99%, donde x es el valor obtenido con el instrumento.

8. Calcular el índice precisión / tolerancia. El índice P/T se define por $\frac{P}{T} = 100 \frac{EM}{ES-EI}$

Interpretación:

P/T ≤ 10% excelente proceso de medición

10% < P/T ≤ 20%, bueno

20% < P/T ≤, marginal (casi inaceptable)

30% < P/T inaceptable y debe corregirse

Finalizada la concepción del archivo electrónico capaz de llevar a cabo los cálculos una vez que se volcaron en él los datos obtenidos, se procede al análisis del proceso de medición actual.

2.3. R&R del proceso de validación de la fragilización

El estudio se realiza sobre 10 muestras, 10 mediciones y 2 operadores. El resultado obtenido es de **P / T = 23,7%**. Este valor indica que el resultado es apenas aceptable, lo cual confirma las sospechas de la Dirección.

Part number : Date : 14/04/2010
 Measuring device number : résiduel venturi Tolerance :
 Last date of calibration : Tolerance width : 0,36
 Number of operators : 2 Characteristic : Résiduel

Parts	Lari				Remi								
	Meas 1	Meas 2	Meas 3	R	Meas 1	Meas 2	Meas 3	R	Meas 1	Meas 2	Meas 3	R	
1	0,963	0,980	0,973	0,017	0,950	0,980	0,993	0,043					
2	0,977	0,983	0,950	0,033	0,990	0,987	0,980	0,010					
3	0,677	0,697	0,690	0,020	0,703	0,673	0,700	0,030					
4	0,730	0,710	0,717	0,020	0,750	0,710	0,703	0,047					
5	0,687	0,713	0,700	0,027	0,690	0,697	0,677	0,020					
6	0,717	0,737	0,713	0,023	0,680	0,703	0,700	0,023					
7	0,730	0,727	0,717	0,013	0,690	0,727	0,693	0,037					
8	0,993	0,970	1,000	0,030	0,960	0,97	0,983	0,023					
9	0,940	0,917	0,910	0,030	0,920	0,903	0,933	0,030					
10	0,943	0,910	0,913	0,033	0,910	0,940	0,900	0,040					
Ope A Average : XA				0,83	Ope B Average : XB				0,83	Ope C Average : XC			
Ope A Range : RA				0,02	Ope B Range : RB				0,03	Ope C Range : RC			

RA	0,02	UCL = 2,574 * R	Max (XA : XB : XC)	0,83
RB	0,03	UCL = 0,071	Min (XA : XB : XC)	0,83
RC			R operators	0,01
R	0,03			

If some R values are greater than UCL, the unacceptable measurements must be done again :

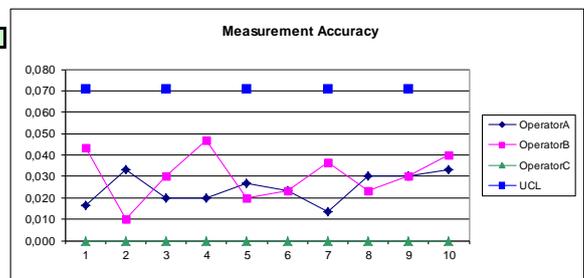
Are all R values acceptable (The graph gives a visual answer) ?

YES

σ (repeatability) = R / 1,693 = **0,0162**
 σ (operator) R operators / d2* = **0,0044**

σ (reproducibility) = $\sqrt{\sigma^2(\text{operator}) - \frac{\sigma^2(\text{repeatability})}{30}}$
 = **0,0033**

σ (inspection process) = $\sqrt{\sigma^2(\text{repeatability}) + \sigma^2(\text{reproducibility})}$
 = **0,0166**



R&R INDEX IN % :	5,15 * σ (measuring device) / IT * 100	Origin of variation :
23,70 % Action plan required		Reproducibility (%) 3,85 %
		Repeatability (%) 96,15 %

Figura 14: Estudio R&R Método actual

Resultan evidentes algunas de las deficiencias del método y surgen alternativas de mejora, que de todas formas no son planteadas, puesto que el método actual tiene una falencia fundamental insalvable: su carácter de destructivo.

3. PROPUESTAS DE MEJORA

Después de un estudio de alternativas disponibles en el mercado, se opta por analizar 3 metodologías: comparador mecánico, perfilómetro laser 2D y captor por efecto Hall.

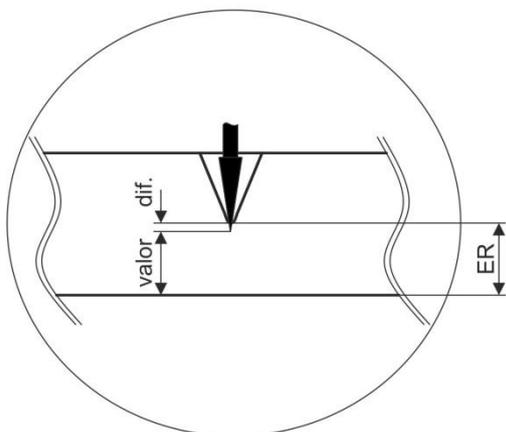
3.1. Comparador mecánico

Con esta herramienta, finalmente no se obtuvieron resultados que demuestren la viabilidad técnica; de todas formas, dada su simpleza, sirve para reflexionar sobre la justeza de las mediciones sobre las que se trabaja: es posible estar cometiendo un error sistemático aunque el instrumento esté calibrado. Esto se debe a las particulares características geométricas del mensurando.

Existen dos factores principales que pueden ser causas de errores sistemáticos en este sistema de medición:

- Baja resistencia a la penetración del producto, con lo que es posible que la punta de contacto entre en la pieza y se obtenga un valor de espesor residual menor al real.
- Probable incapacidad de llegar al fondo de la ranura por parte de la punta de contacto, esto provocaría un valor más grande que el real.

caso a) penetración de la punta de contacto en la piel



caso b) incapacidad de medir en el fondo de la entalla

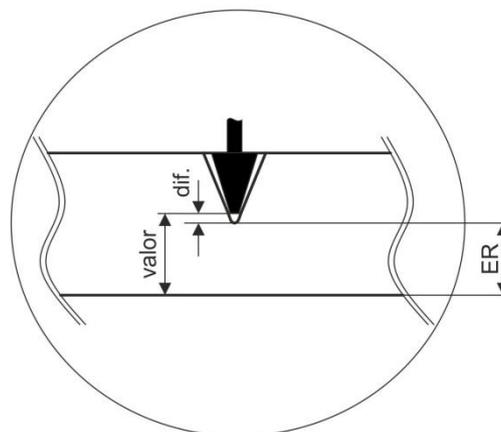


Figura 15: Problemas referidos a tamaño de las puntas de contacto

Es importante remarcar que mientras más pequeña sea la punta de contacto, con el objetivo de llegar al fondo de la ranura, mayor presión ejerce sobre la superficie de la piel. Y si, en el caso opuesto, se busca agrandar la superficie de contacto entre la pieza y el instrumento, es menos probable que éste llegue a dar un valor cercano al verdadero.

Con el fin de conocer si se presenta alguno de estos fenómenos, intuitivamente se pretende obtener el valor verdadero de la medida, con algún instrumento con precisión y exactitud superiores, y contrastarla con los resultados obtenidos por el medio que se necesita validar.

Inmediatamente se presentan otros dos problemas:

- Hasta ahora, se conoce sólo un método válido de realizar la medición; y es a éste mismo el que se procura remplazar.
- Entre los procedimientos disponibles en la base de datos de la organización, no se encuentra ninguno referido a validación de útiles de control que tenga en cuenta errores de justeza.

En entrevistas con especialistas en diseño de productos, ellos recomiendan el uso la norma CNOMO³ E41.36.110.R, en la cual se desarrolla un procedimiento de validación de instrumentos de medición, en el que se tienen en cuenta los errores de justeza.

El procedimiento de validación del instrumento, según [3], consiste en un análisis muy similar a un estudio R&R con la inclusión de las variaciones debidas a errores de justeza. CNOMO brinda

³ CNOMO fue desarrollada por Peugeot y Renault con el fin formalizar las relaciones con sus proveedores.

una plantilla donde volcar los datos y como resultado calcula un Coeficiente de Aptitud de Medio de Control (CMC). Se encuentran tabulados los valores de cada una de estas características y de los CMC considerados como aptos, según el intervalo de tolerancia en la medida a analizar y la calidad constructiva de la pieza.

Tabla 1: Condiciones de aceptación de CMC

IT	> 16 μm and Q > 5	$\leq 16 \mu\text{m}$ and Q ≤ 5
Facility resolution	$\leq \text{IT}/20$	$\leq \text{IT}/10$
$\pm I_e$	$\leq \pm \text{IT}/20$	$\leq \pm \text{IT}/10$
$\pm I_r$	$\leq \pm \text{IT}/8$	$\leq \pm \text{IT}/4$
$\pm I_{\text{metro}}$	$\leq \pm \text{IT}/16$	$\leq \pm \text{IT}/8$
$\pm I_g$	$\leq \pm \text{IT}/8$	$\leq \pm \text{IT}/4$
CMC	≥ 4	≥ 2

Q: basic tolerance quality index.

Esta norma, pone en evidencia el problema de la falta de métodos de control más confiables, dado que supone que el procedimiento a validar es de aplicación en planta y que se cuenta con un valor obtenido en laboratorio, mucho más confiable que el primero. Solicita la obtención de un valor de laboratorio metrológico, que es considerado como el verdadero. Es necesario considerar alguna de las mediciones como “exacta”. La única forma de validación en la que se confía es la medición al microscopio y es la que se utilizará como valor “exacto”, el cual en la norma es nombrado como “metrológico”. La justeza de este método está garantizada por la calibración del instrumento, dado que es un método óptico y al destruirse la pieza no se presentan los errores comentados previamente. Con el objetivo de mejorar la repetitividad y reproductibilidad, se propone tomar precauciones adicionales en la medición.

En adelante se utiliza la Norma CNOMO E41.36.110.R, para validar los métodos propuestos, en lugar del estudio R&R descrito en la sección anterior.

3.2. Perfilómetro láser 2D

3.2.1. Descripción de la herramienta

El principio de medición de esta familia de instrumentos se ve esquematizado en la siguiente figura, donde por motivos de simplicidad se considera solamente un haz viajando en una única dirección. El emisor laser emite un haz hacia la pieza. La luz reflejada es focalizada por una lente y forma la imagen captada por el elemento receptor. La posición de foco sobre el elemento receptor varía en función de la distancia al objeto medido. Esta variación es calculada y convertida en una coordenada de posición de la pieza. Si a este mismo principio se lo considera en el eje restante, se obtiene el perfil de la superficie donde está siendo reflejado el barrido del láser. Cada uno de los modelos disponibles cuenta con distintas propiedades de resolución y rango de medición según las dimensiones de los elementos constitutivos de los emisores/sensores. En la Figura 16 se expone un esquema que representa este modo de funcionamiento.

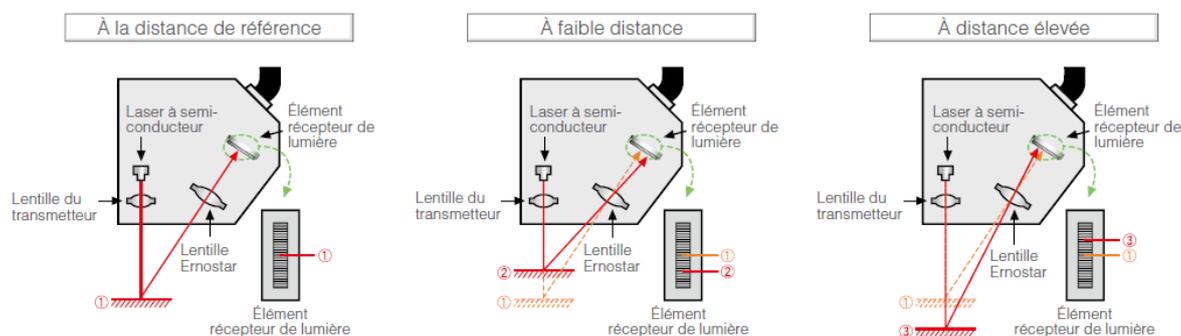


Figura 16: Principio de medición perfilómetro 2D

En el uso de este método se presentan dos alternativas: medición con un cabezal laser y con dos cabezales laser. El método con sólo un cabezal, utiliza como superficie de referencia el apoyo

de la pieza. Esto concuerda con la referencia usada en el proceso de fabricación y sobre la cual se definen las cotas del producto, por lo tanto es la alternativa que se analiza.

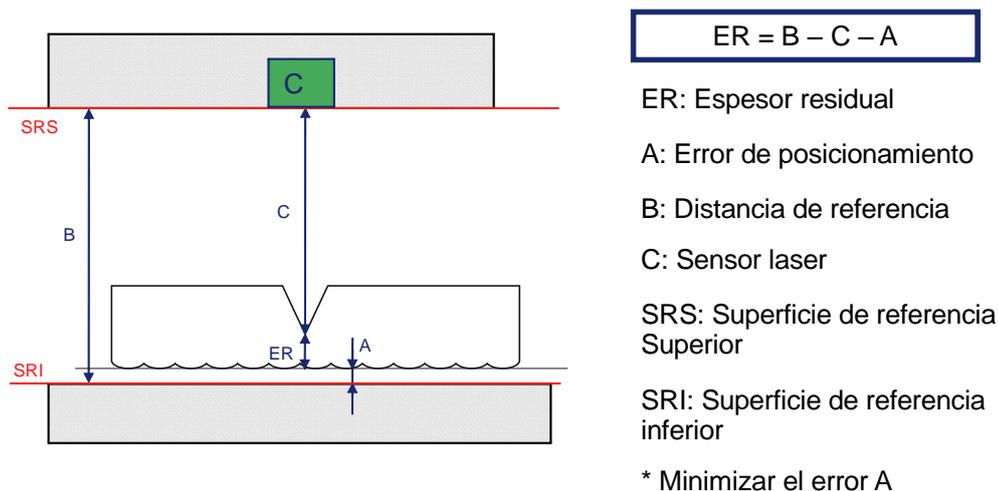
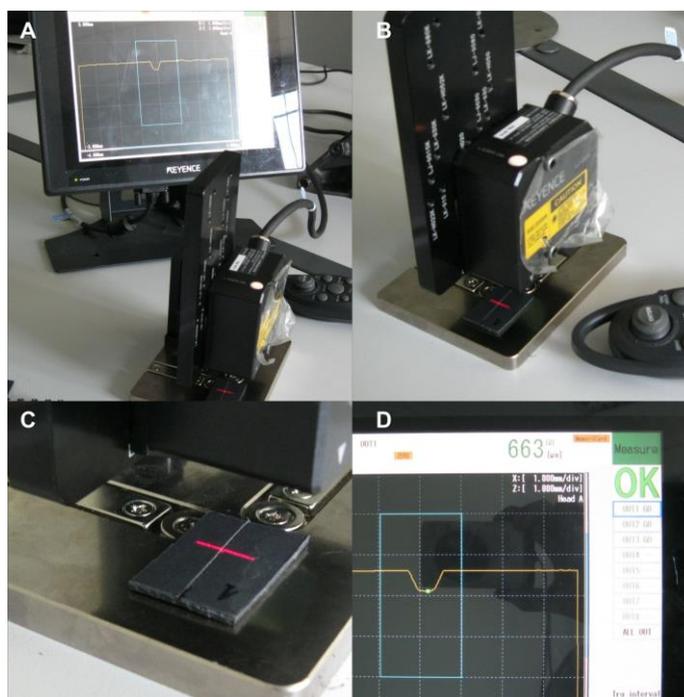


Figura 17: Cadena de cotas. Medición con un perfilómetro láser a un cabezal

La forma de evaluar este método es la propuesta por [1]. A fin de efectuarse los ensayos, se realizan entrevistas y reuniones de demostración con los representantes técnico-comerciales de la firma que comercializa este sistema. Ante la falta de una estructura de fijación de la pieza, se procede al test sobre muestras. De esta forma se comprueba la capacidad de la herramienta. Si esta es válida, debe considerarse la forma de sujetar las piezas.

3.2.2. Medición con un cabezal laser sobre muestras

Después de la inicialización del sistema se establece la escala de medición: con el sensor solidario al instrumento de fijación y sin ninguna pieza entre éste y la superficie de referencia inferior, se calibra el instrumento de manera que en ese momento entregue el valor cero. Luego, se coloca una galga, pintada color negro mate de manera que tenga propiedades de reflexión similares al mensurando, se ingresa el valor del espesor de la galga, previamente medida con un tornillo micrométrico. La ilustración de la página siguiente presenta 4 imágenes representativas del proceso de medición.



Conjunto completo – B) Cabezal laser y mensurando
C) Detalle del mensurando – D) Pantalla

Figura 18: Medición a un cabezal laser sobre muestras

El CMC obtenido es igual a **5,63**. Este muy buen resultado permite incrementar la complejidad del método y aumentar el tamaño de la pieza analizada.

Tabla 2: *Cálculo CMC. Tabla resumen – 1 cabezal laser – Muestras*

TO INFORM ONLY THE WHITE COMPARTMENTS, THE YELLOW ARE RESULTS OF CALCULATIONS					
According to the used unity, you can be 16 μ or 0.016 mm				16	
For information only) the result of the CMC is the following or				CMC= 5,63	
360		Value of the IT (TB) in the used unity			
1012	1015	1015	1016	1015	
837	842	841	838	836	
842	838	838	837	836	
PART 1	PART 2	PART 3	PART 4	PART 5	
867	794	782	803	1094	
864	792	764	787	1047	
844	807	740	829	1058	
858	803	743	805	1087	
860	805	751	808	1060	
metro value	852,0000	801,2500	749,0000	808,0000	1084,0000

3.2.3. Medición a un cabezal laser sobre piel completa

Basándose en los resultados del ensayo anterior, se puede suponer que si se cuenta con un método de fijación del sensor respecto a la superficie de apoyo, sumado a un buen contacto entre ésta y la superficie inferior de la piel, el proceso de medición resultaría válido. Por lo tanto, se lleva a cabo el proceso de validación utilizando la piel completa. El apoyo es el mármol de una CMM (Coordinate Measuring Machine), puesto que es una superficie de excelente terminación superficial, dura y magnética. El captor se fija con un apoyo articulado. Se mejora el contacto entre la pieza y el mármol, en las inmediaciones de los puntos a medir, usando un disco perforado que se coloca sobre la piel, de este modo la sujeta contra la superficie inferior. La definición de escala se hace de la misma manera que en la prueba sobre muestras, puesto que el método es básicamente el mismo, sólo que en condiciones menos favorables. Este método es poco estable, no obstante se evita el desarrollo de un dispositivo especial de posicionamiento del cabezal y de fijación de la piel que resultaría demasiado caro y demandaría un tiempo de fabricación excesivo, tratándose de una prueba. En la imagen a continuación, se pretende mostrar la forma de sujeción provisoria utilizada.

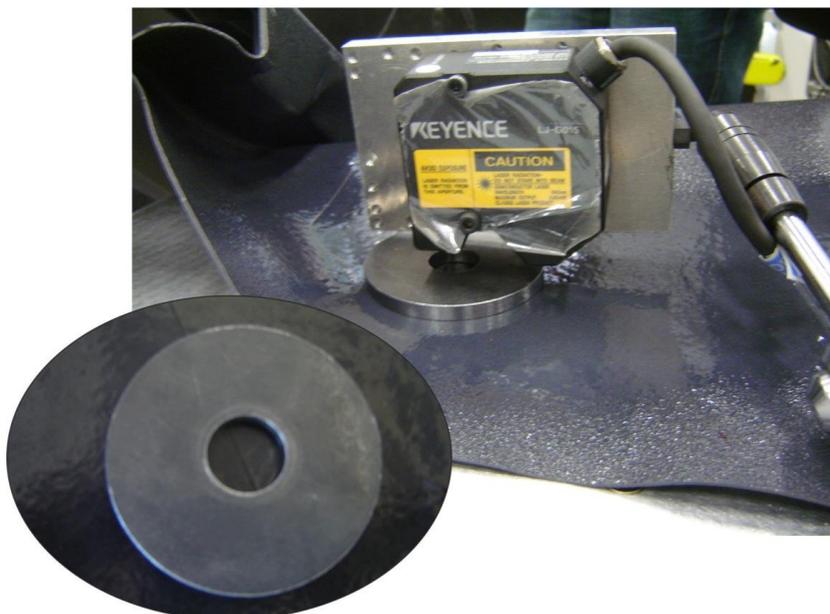


Figura 19: *Medición a un cabezal laser sobre piel completa. Detalle de disco de fijación*

Como puede observarse en la Tabla 3, el CMC obtenido es de **4,18**. Si bien el resultado disminuye considerablemente, sigue siendo aceptable. Recordando las observaciones hechas con anterioridad, referidas a las precariedades de este ensayo, se concluye que este método es totalmente aplicable al caso en cuestión, más todavía, si se considera que en la implementación final, en caso de adoptarse esta nueva forma de efectuar el control, se incluiría la fabricación de un dispositivo de fijación.

Tabla 3: Tabla resumen – 1 cabezal laser – Piel completa

NE RENSEIGNER QUE LES CASES BLANCHES , LES JAUNES SONT DES RESULTATS DE CALCULS						
Suivant l'unité utilisée vous pouvez avoir 16μ ou 0.016 mm					16	
à titre indicatif le résultat du CMC est le suivant					CMC=	4,18
360					valeur de l'IT dans l'unité utilisée	
Retour entête	1012	1015	1015	1016	1015	
	927	934	931	928	926	
	933	927	928	927	924	
Imprime	PIECE 1	PIECE 2	PIECE 3	PIECE 4	PIECE 5	
	937	866	882	903	1194	
	964	892	864	887	1147	
	944	907	840	929	1158	
	958	903	843	905	1187	
Imprime répétabilité ou réception	960	905	851	908	1160	
	Valeur métro	928,0000	892,0000	857,0000	897,0000	1168,0000

3.3. Captor por efecto Hall

3.3.1. Descripción de la herramienta

El principio de medición utilizado en el instrumento en cuestión consiste en la aparición de un campo eléctrico en un conductor, cuando es atravesado por un campo magnético. A este campo eléctrico se le llama campo Hall. Este efecto fue descubierto en 1879 por el físico estadounidense Edwin Herbert Hall. Los sensores basados en efecto Hall constan de un elemento conductor, o semiconductor, y un imán. Cuando un objeto ferromagnético se aproxima al sensor, el campo que provoca el imán en el elemento se debilita. Así se puede determinar la proximidad entre éstos.

En el sensor MagnaMike 8500, las mediciones se realizan cuando la sonda magnética entra en contacto con la superficie de la pieza, mientras que del lado opuesto se coloca una pequeña esfera de acero. Un sensor integrado a efecto Hall mide la distancia entre la punta de la sonda y la esfera de acero. La medida aparece instantáneamente en la pantalla. En el caso particular de la medición de la línea de fragilización que se estudia, es necesario cambiar la esfera de acero por el accesorio opcional código 80TD1, que consiste en un disco de 4,8 mm de diámetro.

Las posibilidades de configuración de la salida del aparato son: espesor mínimo y máximo, distancia estándar, promedio, valor mediano y comparación de archivos. En esta situación, el sensor es aplicable si se configura el instrumento de manera tal que entregue el mínimo valor medido; se coloca en la entalla el disco, en la parte externa de la piel la sonda y se desplaza esta última de manera tal de asegurar que en algún momento la sonda y el disco queden alineados verticalmente (figura 20). En la figura 21, se fotografía el captor, la sonda y una moneda de un centavo como referencia en las dimensiones.

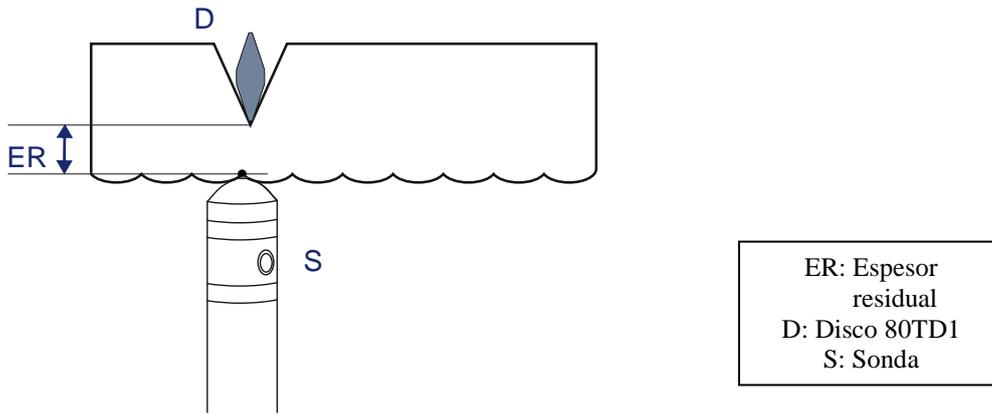


Figura 20: Esquema de medición por sensor por efecto Hall

En cuanto a la cadena de cotas, no permite la utilización de un apoyo que sirva como referencia: el valor obtenido es igual a la distancia entre la parte inferior de la entalla y el punto superior de la superficie de la piel en los alrededores de la zona de medición. La desventaja, superficies de referencia que difieren con la utilizada en el proceso de fabricación, también es compartida.

Como ayuda a la tarea de medición se utiliza el dispositivo de fijación utilizado en los ensayos a dos cabezales laser.



Figura 21: Sonda MagnaMike 8500, disco 80TD1 y moneda de un centavo

Como puede observarse en la tabla resumen de CNOMO (Tabla 4), el medio de control analizado tiene buenas cualidades de R&R. No obstante existe una gran diferencia entre los valores obtenidos y el valor "verdadero". Esto resulta en un CMC, inaceptable, de 0,63. El error de justeza, en un análisis preliminar, puede juzgarse como producto del cambio del punto de referencia. Según las necesidades del proceso, debe utilizarse la cresta del grano de la superficie inferior de la piel, mientras que las características de este método obligan a tomar la medición desde el valle entre granos.

Tabla 4: *Cálculo CMC. Tabla resumen – Captor por efecto hall*

NE RENSEIGNER QUE LES CASES BLANCHES , LES JAUNES SONT DES RESULTATS DE CALCULS					
Suivant l'unité utilisée vous pouvez avoir 16μ ou 0.016 mm					16
à titre indicatif le résultat du CMC est le suivant					CMC= 0,63
360 valeur de l'IT dans l'unité utilisée					
Retour entête	1012	1015	1015	1016	1015
	837	842	841	838	836
	842	838	838	837	836
Imprime	PIECE 1	PIECE 2	PIECE 3	PIECE 4	PIECE 5
	597	660	772	742	569
Imprime répétabilité ou réception	594	660	762	714	523
	602	653	726	701	525
	592	650	770	706	525
	582	645	772	688	539
Valeur métro	720,0000	892,0000	948,0000	912,0000	768,0000

3.4. Conclusión sobre alternativas consideradas

Sólo una de las alternativas analizadas se presenta como una propuesta superadora al método actual que no requiere cambios en las demás etapas del proceso productivo: Sistema de medición con **perfilómetro laser 2D, en el arreglo con un único cabezal**. Por éste motivo la aplicación de este instrumento es la sugerencia que se hace a la Dirección.

Es necesario aclarar que, con el fin de asegurar un correcto funcionamiento del sistema planteado, se debe confeccionar un dispositivo de fijación que permita el posicionamiento de la pieza completa con un error mínimo, a una distancia fija del captor. La estructura precisa ser lo suficientemente estable tal que evite temblores una vez ubicados todos los elementos en el lugar correspondiente.

Las necesidades en la fabricación de este dispositivo de fijación son dadas al departamento específico en cuestiones similares. La persona encargada de la construcción es quien concibe gálibos de posicionamiento de comparadores en el departamento de metrología.

Es importante tener en cuenta que el perfilómetro laser brinda otro frente de desarrollo: el proyecto de colocar el cabezal laser solidario al cabezal de la fresadora. Si esto es factible se estaría en condiciones de medir la línea de fragilización a medida que avanza el proceso. Esta alternativa supera las expectativas de este estudio, no obstante se deja la recomendación de evaluarla en el futuro próximo, sobre todo en las factorías que adquieran nuevas fresadoras.

Los siguientes análisis de factibilidad económica, financiera y de impacto ambiental se llevan a cabo refiriéndose a la propuesta anteriormente mencionada.

3.5. Comentarios sobre impacto ambiental

Si bien, este proyecto consiste en una modificación mínima en la estructura de las plantas industriales donde se aplique el método propuesto, no es despreciable la implicancia en el impacto ambiental de los cambios propuestos.

Al cumplirse con el objetivo de desarrollar una tecnología capaz de efectuar la validación de las piezas en cuestión de manera no destructiva, se evita la generación de una cantidad considerable de desechos. Además estas piezas quedan disponibles, pudiendo ser utilizadas en los montajes finales. Esta reducción en la cantidad de piezas fabricadas con la finalidad de abastecer a la misma demanda trae aparejada una reducción en los recursos necesarios, utilizados en todos los procesos previos a la fragilización como electricidad, agua, vapor, combustible.

Se presentan gráficamente los impactos ambientales del trabajo por medio de un diagrama de flujos (figura 22), herramienta que permite establecer las relaciones causa-efecto entre la propuesta y el medio afectado.

3.5.1. Cuantificación de desechos evitados:

El material utilizado es $2,80^4$ Kg de PVC por cada piel, se ensayan actualmente, como mínimo, 8 piezas por día. Por lo tanto, en un mes típico la Disminución de desechos D, será:

$$D = 2,8 \left[\frac{Kg}{u} \right] \times 8 \left[\frac{u}{día} \right] \times 20 \left[\frac{día}{mes} \right] = 448 \left[\frac{Kg}{mes} \right]$$

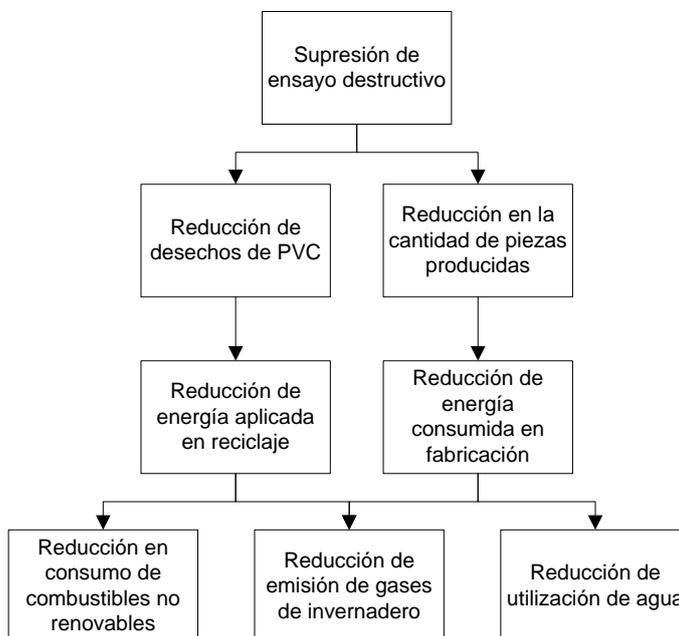


Figura 22: Diagrama de flujos de impacto ambiental del proyecto

4. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

4.1.1. Consideraciones

- El horizonte de planeamiento en ningún supuesto supera los 2 años: el monto de inversión es muy bajo y en las tecnologías empleadas, de vanguardia en innovación, existe un cierto riesgo de obsolescencia.
- Las líneas de producción tomadas como objeto de estudio, actualmente trabajan al límite de la capacidad de producción.
- No se contempla financiamiento, puesto que los montos que plantea el proyecto son insignificantes para el grupo.
- Se desprecia la diferencia de consumo eléctrico entre el método actual y el método propuesto. Es decir entre el microscopio, pc e iluminación por un lado y el sistema laser por el otro.
- Los equipos se consideran obsoletos al cierre del proyecto, valor nulo de liquidación.
- Se desprecia, en los cálculos, el aumento de productibilidad resultante de la disponibilidad de la no destrucción de los productos ensayados.
- La alternativa propuesta reemplaza totalmente al ensayo actual. El método de medición con microscopio no mide ninguna característica que el perfilómetro laser 2D no haga.
- El costo de disposición final de desechos producidos en el ensayo destructivo se desprecia. Esta consideración se hace porque la Empresa cuenta con un servicio tercerizado que retira periódicamente los diferentes contenedores de desperdicios; sería un trabajo dificultoso e injustificado el del análisis del costo de cada uno de los contenedores que el servicio retira. Además, la merma en la cantidad de material transportado, después de aplicada la solución planteada, sería insignificante.
- Se considera el euro como moneda, dado que el proyecto se realiza para una empresa europea.

4 Este valor puede variar según el modelo. A los fines de este análisis, las diferencias son despreciables.

4.1.2. Inversión

Tabla 5: *Inversión*

Concepto	Ref.	Costo (€)	Período de Amortización (meses)	Amortización Mensual (€)	Liquidación
Controlador multifunción*	LJ-G5001P	5700,00	24,00	237,50	0,00
Cabezal sensor*	LJ-G015	6700,00	24,00	279,17	0,00
Cable de conexión*	LJ-GC2	280,00	24,00	11,67	0,00
Envío		80,00	24,00	3,33	0,00
Estructura de fijación		3000,00	24,00	125,00	0,00
Bomba de vacío		800,00	24,00	33,33	0,00
Total		16560,00		690,00	0,00
* instalación y puesta a punto incluidas					

Fuente: elaboración propia

Los valores que figuran en la tabla anterior fueron presupuestados por el fabricante de equipamientos de medición laser y por el de gálibos de test dimensional, en el caso de la estructura de fijación.

4.1.3. Ahorros

Evitación de desperdicios

La Empresa cuenta con el costo de *scrap* de cada pieza, en cada punto del proceso productivo. En el caso de la piel encuestión, después de realizada la tarea de fragilización, es de **23 €**. En la planta tomada como paradigma, se ensayan, como mínimo, 2 piezas por línea cada día y se trabaja 5 días a la semana. Actualmente existen 2 líneas de producción y 2 más se están construyendo – Estas últimas se consideran en el análisis de sensibilidad del proyecto –.

Entonces,

$$\text{evitación de desperdicios} = 2 \left[\frac{pz}{lin.usina.día} \right] 2 \left[\frac{lin}{usina} \right] 20 \left[\frac{días}{mes} \right] 23 \left[\frac{€}{pz} \right]$$

$$\text{Ahorro por evitación de desperdicios} = 1840 \left[\frac{€}{usina.mes} \right]$$

Ahorro de Mano de Obra

En el cálculo del ahorro de los tiempos empleados en el nuevo método, se considera como que no se paga el tiempo que se deja de utilizar. Se usa esta aproximación a causa de que es difícilmente calculable la ganancia real: el aprovechamiento del recurso en otras actividades.

Considerando:

- Tiempo neto promedio del procedimiento actual: 36 [min]
- Tiempo estimado necesario en la propuesta: 15 [min]

Por lo tanto, el ahorro de utilización de Mano de Obra es de 19 [min]

Tomando un sueldo tipo de personal de laboratorio de 3000 € y 9600 minutos trabajados en cada mes, resulta en un costo de 0,3125 € por minuto. Un ahorro de 19 minutos corresponde a **5,9375 €** por pieza.

En un mes,

$$\text{Ahorro de MO} = 2 \left[\frac{pz}{lin.usina.día} \right] 2 \left[\frac{lin}{usina} \right] 20 \left[\frac{días}{mes} \right] 5,9375 \left[\frac{€}{pz} \right]$$

$$\text{Ahorro de MO} = 475 \left[\frac{€}{usina.mes} \right]$$

4.1.4. Análisis Financiero

Existen razones por las cuales se considera innecesario, y hasta contraproducente, un análisis económico-financiero tradicional. A saber:

- los montos de inversión y de ahorro, presentados anteriormente, son insignificantes para la empresa
- al tratarse de un proyecto de I+D, se utiliza infraestructura existente, muy difícilmente cuantificable
- los principales objetivos de este trabajo son intangibles

Hechas estas aclaraciones, se define el período de recupero de la inversión descontado como el indicador que evalúa financieramente a la alternativa de mejora.

La tasa de descuento adoptada en la presentación formal de este trabajo, 17%, es muy superior a la actualmente utilizada en la organización cuando se evalúan proyectos de inversión. Esta diferencia se debe a que la situación macroeconómica del continente europeo, y del mundo en su totalidad, atraviesa una situación de extrema incertidumbre.

Tabla 6: Flujo de fondos del proyecto

Semestre	0	1	2	3
Pronóstico de ahorro (piezas)		480	480	480
Ahorro evitación scrap		11.040,00 €	11.040,00 €	11.040,00 €
Ahorro MO		2.850,00 €	2.850,00 €	2.850,00 €
Inversión en equipamiento	-16.560,00 €			
FF neto	-16.560,00 €	14.370,00 €	14.370,00 €	14.370,00 €
FF actualizado	-16.560,00 €	13.244,24 €	12.206,67 €	11.250,39 €
FF actualizado acumulado	-16.560,00 €	-3.315,76 €	8.890,91 €	20.141,30 €
Recupero de la inversión descontado	246 días			

Este recupero de la inversión, de ocho meses, es adecuado. Se recuerda que no se plantea la opción de financiamiento externo, puesto que la inversión es insignificante.

4.1.5. Análisis de sensibilidad

En este apartado se suponen cambios en las condiciones adoptadas al momento de llevarse a cabo las predicciones posteriormente utilizadas en el flujo de fondos.

Cantidad de piezas ensayadas

En este apartado se consideran variaciones en la estimación de piezas ensayadas, las cuales son la variable independiente de los resultados positivos del análisis. A continuación se describen las fluctuaciones propuestas:

Escenario 1: estimación original.

Escenario 2: se consideran terminados los trabajos de construcción de dos nuevas líneas de producción en la planta tomada como referencia.

Escenario 3: se supone una merma en la producción de esta familia de productos que resulte en el uso de una única línea de producción.

Tabla 7: *Análisis de sensibilidad. Cantidad de piezas ensayadas*

Recupero de la inversión descontado (escenario 1)	246 días
Recupero de la inversión descontado (escenario 2)	123 días
Recupero de la inversión descontado (escenario 3)	492 días

Estos resultados, mostrados en la Tabla 7, son los previsible, puesto que el ahorro provocado por el trabajo es directamente proporcional a la cantidad de piezas ensayadas por período.

Costo de desperdicio

En este apartado se supone que la mejora continua de los procesos aguas arriba del punto que es competencia de este estudio logra disminuir el costo de fabricación de la pieza ensayada. Presentado este escenario (número 4), se calcula a cuánto debe descender el costo de desechar una unidad de piel *airbag*, recordando que el valor actual es de 23 €. En la tabla siguiente (Tabla 8) se observa el flujo de fondos resultante de la variación de costos anteriormente planteada.

Tabla 8: *Flujo de fondos del proyecto. Escenario 4*

Semestre	0	1	2	3
Pronóstico de ahorro (piezas)		480	480	480
Ahorro evitación scrap		3.153,60 €	3.153,60 €	3.153,60 €
Ahorro MO		2.850,00 €	2.850,00 €	2.850,00 €
Inversión en equipamiento	-16.560,00 €			
FF neto	-16.560,00 €	6.483,60 €	6.483,60 €	6.483,60 €
FF actualizado	-16.560,00 €	5.975,67 €	5.507,53 €	5.076,06 €
FF actualizado acumulado	-16.560,00 €	-10.584,33 €	-5.076,80 €	-0,74 €
Costo de scarp por unidad	6,57 €			
Recupero de la inversión descontado	540 días			

Este resultado indica que mientras el costo de desecho de cada unidad del piel sea mayor o igual a 6,57 €, el proyecto no dará pérdida; tomando como referencia un horizonte de planeamiento de 3 semestres.

4.1.6. Conclusión económico-financiera

Queda constatada la viabilidad económico-financiera de la propuesta de mejora. Resta recordar que los buenos resultados financieros en el proceso específico abordado en este estudio, son muy poco relevantes. No obstante, el lucro inmediato no es un objetivo principal, sino secundario; y es recomendable cumplirlo.

5. Conclusión Final

Se demuestra que es factible la aplicación de un método alternativo en los controles de espesor residual en la entalla de fragilización de la piel de recubrimiento de tableros de automóviles. Esta propuesta alternativa brinda **reducción de costos y de tiempos**; mejora la **imagen de la empresa** en **cuestiones medioambientales** y, lo que es más importante, proporciona una **herramienta confiable** en cuanto a la validación de una pieza íntimamente relacionada con la seguridad de los ocupantes de los vehículos a nivel mundial.

En el marco del objetivo estratégico de la eliminación de ensayos destructivos, el trabajo hace un aporte de gran valía.

Como paso siguiente en la implementación de las mejoras desarrolladas, se encuentra la recepción de los materiales adquiridos y el montaje correspondiente. Este montaje, se incluye en la cotización del **perfilómetro laser 2D** y es realizado por personal altamente capacitado. Dadas estas particularidades, sumadas a la utilización de un dispositivo de posicionamiento especialmente construido a tal fin, es de esperarse que las condiciones de funcionamiento habituales del nuevo sistema obtengan resultados superiores a los medidos en las pruebas que validaron la mencionada tecnología.

Como reflexión final se concluye que aún en la empresa líder mundial en el rubro de interiores de automóviles, es posible efectuar mejoras considerables que afectan a la Organización internamente, tanto como a la calidad del producto recibido por el consumidor; además se cuenta con **externalidades positivas**.

6. REFERENCIAS

- [1] Renault (2010). *CNOMO E41.36.110.R (EN). Approval of measurement facility capability / Specific inspection facility*. Renault. Francia.
- [2] GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto y DE LA VARA, Román. (2004). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. Ed. McGraw-Hill – Méjico, 2004.
- [3] ISO/IEC Guide 99-12:2007. *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)*. ISO2007.