

# The Shot Peener's Corner



**Nº 38**

The Shot Peener's Corner es una colaboración entre ELECTRONICS INC. e IPAR-BLAST, S.L.

Cada artículo, es una traducción del reportaje más destacado de la revista THE SHOT PEENER.

ELECTRONICS INC. es líder mundial en formación y difusión del shot peening.

IPAR-BLAST, S.L. es subcontratista de tratamientos superficiales de precisión.

Entre los cuales se encuentra el shot peening.

**De vuelta a los principios: Precisión de las mediciones en el Shot Peening**

Dr. David Kirk | Coventry University (Texto traducido por Eduardo Vázquez — IPAR-BLAST, S.L.)

**INTRODUCCIÓN**

La precisión de las mediciones en el shot peening es un requisito base. La precisión, desde un enfoque razonado, la comprenden tres factores. Estos son:

1. **Suposición**
2. **Precisión**
3. **Desviación**

Considérese, como ejemplo, un reloj de pulsera analógico. Es una suposición justa que será razonablemente preciso porque el arte de la fabricación de la relojería está muy bien establecido. La precisión dependerá en gran medida de si tiene o no segundero. Se producirá una gran desviación si viajamos entre zonas horarias sin corrección. Con el tiempo, se desarrollará una pequeña desviación, suponiendo que el reloj no esté controlado por radio. Por lo general, cuanto más caro sea el reloj, más lenta será la tasa de esa desviación.

Este artículo considera la implicación de los tres factores (suposición, precisión y desviación) en la precisión de las mediciones de shot peening. Cada medición de shot peening tiene un elemento de variabilidad. Sin embargo, no podemos estimar la variabilidad de las mediciones a menos que tengamos la información adecuada, también conocida como datos. Industrias enteras confían en los datos que recopilan meticulosamente. Fue una sorpresa, al asistir a un taller de shot peening de Electronics Inc., descubrir que la mayoría de los estudiantes no guardaban los datos de shot peening después de haberlos usado una sola vez. Los datos de shot peening se pueden almacenar fácilmente en hojas de Excel.

Dada una cantidad adecuada de mediciones para un aspecto específico del shot peening, podemos estimar la variabilidad utilizando técnicas sencillas fácilmente disponibles. Esta técnica se denomina "Distribución normal". Esta técnica es aplicable a la mayoría de las medidas de shot peening. La figura 1 ilustra características importantes de la técnica.

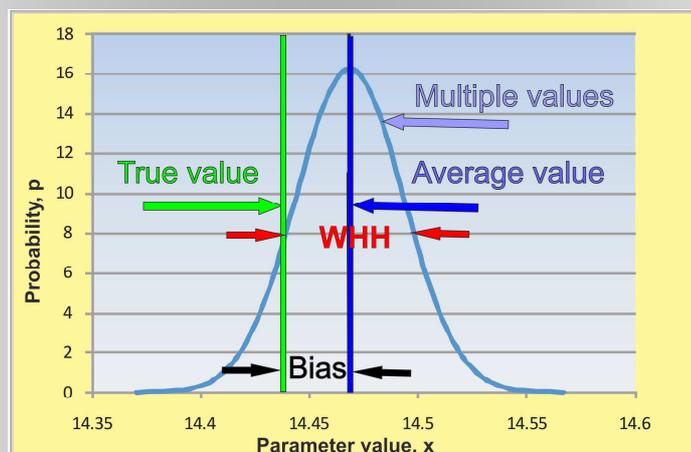


Fig.1. Parámetros de una distribución normal

Una característica importante de las distribuciones normales es su nitidez. Esto se indica mediante el ancho a la mitad de la altura (Width at Half Height), WHH en la fig.1. Cuanto menor es el valor de WHH, más nítida es la curva. Un parámetro,  $\sigma$ , define la nitidez.  $\sigma$  se denomina "Desviación Estándar" y corresponde

al valor de WHH dividido por 2.355. La varianza de las medidas se define como el cuadrado de la desviación estándar. Para la figura 1, la masa de cada placa Almen en cajas llenas de placas Almen nominalmente idénticas se obtuvo usando una balanza de alta precisión. Tener estos valores permitió dibujar la curva azul. Este tipo de curva a veces se dice que tiene "forma de campana". La diminuta variación de masa observada solo podría haber sido detectada mediante el uso de un dispositivo muy preciso. El promedio de los múltiples valores observados divide la curva en dos mitades.

#### CALCULANDO LA DESVIACION STANDARD

Conocer la desviación estándar de un grupo de medidas puede ser muy útil. Afortunadamente, el cálculo computerizado de la desviación estándar es simple, aunque tedioso si se trata de un gran número de mediciones. La Tabla 1 muestra cómo Excel facilita el cálculo porque incluye funciones de desviación estándar integradas. ¡Pruébelo usted mismo! En la columna A de una hoja de cálculo de Excel, introduzca las medidas que requieren el cálculo de la desviación estándar: siete para este ejemplo. En 8, debajo de la última medida introducida, escriba "=STDEV.S(A1:A7)". Pulse "Enter" y aparecerá el valor de la desviación estándar de las medidas. ¡Simple!

	Columna A
1	14.39
2	14.43
3	14.51
4	14.51
5	14.47
6	14.42
7	14.39
8	0.051594

Tabla 1. Ejemplo de entradas de Excel para calcular la desviación estándar.

#### UTILIDAD DEL VALOR DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR

El valor de la desviación estándar para una variable particular cuantifica la variabilidad. Una aplicación útil es estimar la probabilidad de que el parámetro satisfaga un requisito específico. Para cualquier variable normalmente distribuida existe lo que se llama la "REGLA 68-95-99.7%". Esta regla es una ayuda para la memoria, lo que significa que el 68 % de las mediciones aleatorias de la misma variable estarán entre  $\pm 1$  desviación estándar del valor promedio, el 95 % entre  $\pm 2$  desviaciones estándar del valor promedio y el 99,7 % entre  $\pm 3$  desviaciones del valor medio. Este importante concepto se ilustra en la fig.2.

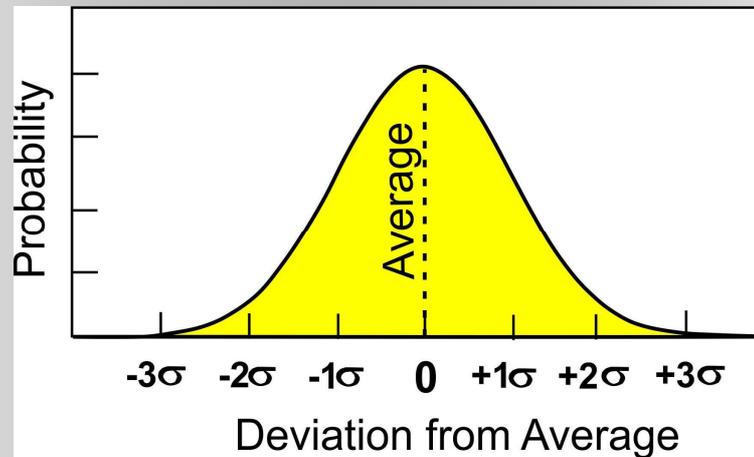


Fig.2. Probabilidad versus Desviación de la Media.

### Probabilidad del 99.7%

Desde el punto de vista del control de calidad, la probabilidad del 99,7% es particularmente importante. Considere el siguiente ejemplo, que usa valores simples para facilitar la aritmética mental. Imagine que analizamos una muestra representativa de un lote grande y descubrimos que tenía un valor promedio de 10 y una desviación estándar de 1. Podemos estar 99,7% seguros de que cualquier otra muestra del mismo lote grande tendrá un valor que se encuentra entre 7 y 13—promedio  $10 \pm 3$ . Para la mayoría de las operaciones de shot peening, la desviación estándar será mucho menor que 1. Para una desviación estándar de, por ejemplo, 0,1, nuestra certeza del 99,7 % es que cualquier otra muestra tendrá un valor entre 9,7 y 10,3.

### Varianza

La variabilidad de una propiedad en particular se llama su "Varianza". La varianza se define como el cuadrado de su desviación estándar. Como ejemplos, la desviación estándar de 2 se convierte en una varianza de 4 y una desviación estándar de 0,1 se convierte en 0,01.

### VARIABILIDAD

La varianza,  $V$ , es el cuadrado de la desviación estándar medida,  $\sigma$ , de un conjunto de medidas. Así:

$$\text{Varianza, } V = \sigma^2$$

La clave para entender y usar las varianzas es conocer tres de sus características:

- 1 - Las varianzas constituyentes son aditivas,
- 2 - Las varianzas contribuyentes deben ser identificadas y
- 3 - Las varianzas contribuyentes con pequeñas desviaciones estándar pueden ser ignoradas.

**1 - Las varianzas constituyentes son aditivas.** Supongamos, por ejemplo, que las mediciones individuales de masa realizadas en cada una de las 50 placas Almen A indican una varianza entre placas de 11 (en unidades arbitrarias). Cincuenta mediciones repetidas realizadas en una sola de las 50 placas indican una varianza de medición de 1. La varianza entre placas es 11 y la varianza de medición es 1. Ahora:

$$\text{Varianza entre tiras} = \text{Varianza de medición} + \text{Varianza de masa}$$

por lo que, para este ejemplo:

**11 = 1 + Varianza de masa**

Por lo tanto, podemos deducir que la varianza de masa, para este ejemplo, es de 10 (11 - 1).

**2 - Las varianzas contribuyentes deben ser identificadas.** Por ejemplo: las varianzas que contribuyen a la masa de una placa Almen pueden ser identificadas como la longitud, el ancho, el grosor y la densidad del acero. Ninguna otra propiedad de una placa Almen (como la dureza) contribuye a su masa. Si, por ejemplo, se estableciera que las varianzas de longitud, ancho y densidad del acero para las placas eran todas equivalentes a 1, entonces para una varianza de masa de 10 tenemos que:

$$10 = 1 + 1 + 1 + \text{Varianza de grosor}$$

de lo que se deduce que la varianza de grosor debe ser de 7 (10 - 1 - 1 - 1).

**3 - Las varianzas contribuyentes con pequeñas desviaciones estándar pueden ser ignoradas.** Este es un punto práctico muy importante que rara vez se destaca. Imaginemos que un conjunto particular de mediciones dio una desviación estándar de 11 que fue contribuida por 4 factores que tenían desviaciones estándar de 10, 4, 2 y 1 respectivamente. Esto significará que:

$$11^2 = 10^2 + 4^2 + 2^2 + 1^2$$

$$121 = 100 + 16 + 4 + 1$$

Ignorar las contribuciones de 16, 4 y 1 solo produce un pequeño cambio en la variabilidad estimada. La importancia práctica es que debemos concentrarnos en tratar de reducir cualquier factor que tenga una varianza mucho mayor que cualquiera de los otros factores. Como otro ejemplo, imaginemos que las desviaciones estándar observadas para la longitud, el ancho y la densidad del acero para un lote dado de placas Almen tenían una magnitud de 1 y que la desviación estándar observada para la masa era de 10. La conversión de estas en varianzas da como resultado que:

$$100 = 1 + 1 + 1 + 97 \text{ (variación de grosor)}$$

Es decir, el 97% de la variabilidad observada se puede atribuir a la variación de grosor, por lo que las variaciones de longitud, ancho y densidad del acero pueden ser efectivamente ignoradas (por ser insignificantes).

**Varianza de Medición**

La varianza de medición surge cuando un instrumento indica diferentes valores para mediciones repetidas en el mismo espécimen. Por ejemplo, un medidor Almen de alta precisión podría indicar valores ligeramente diferentes para la altura del arco cuando se mide varias veces la misma placa granallada. Las causas de la varianza de medición son normalmente identificables e involucran una combinación de factores del operario e instrumento. Los principales fabricantes de instrumentos generalmente intentan contrarrestar la varianza de medición. Cada caso, sin embargo, es diferente, lo que dificulta la generalización.

El método estándar para contrarrestar la varianza de medición es tomar el promedio de mediciones repetidas en el mismo espécimen. Si dos mediciones sucesivas son idénticas, entonces generalmente se supone que no hay una varianza significativa y el promedio es autocalculado. Si, por otro lado, dos mediciones sucesivas son diferentes, entonces es necesario tomar mediciones adicionales. Si la diferencia es solo una unidad de instrumento, se puede tomar el promedio o tomar una tercera medición. Con tres mediciones, si dos son iguales y una difiere solo por un dígito medible, entonces se acepta generalmente el valor de las dos mediciones idénticas.

**Varianza de Parámetros**

Cada parámetro de shot peening varía. Por ejemplo, la Fig.3 ilustra la varianza del tamaño de la indentación. Sin embargo, diferentes parámetros varían de manera diferente. Por ejemplo, la varianza del diámetro de la granalla de alambre cortado es bastante diferente a la del acero fundido. La Fig.4 muestra, esquemáticamente, la distribución de tamaño de una muestra de granalla de acero fundido. La granalla de alambre cortado muestra una distribución normal de tamaño.

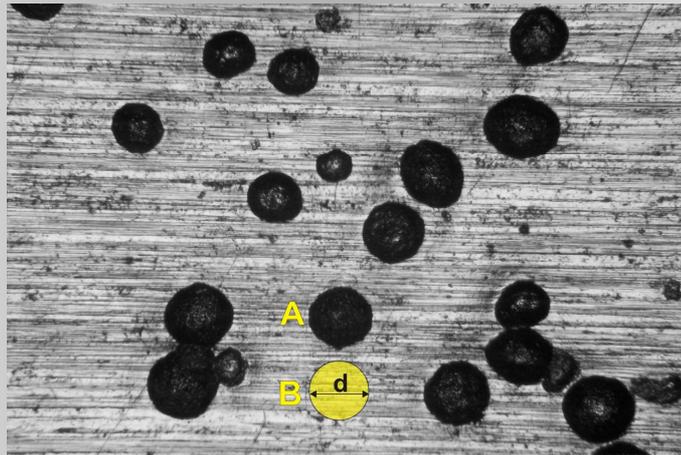


Fig.3 Variabilidad del tamaño de la indentación.

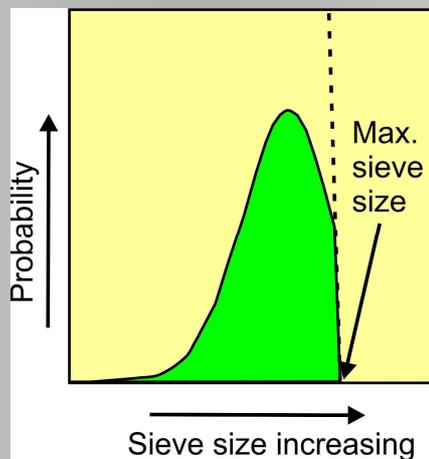


Fig.4. Distribución de tamaño de Granalla de fundición tamizada.

#### APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE VARIANZA

La gestión y control de la variabilidad requiere que se pueda medir cuantitativamente. Luego se pueden calcular automáticamente la desviación estándar y la varianza, por ejemplo, utilizando un programa de Excel.

Los estudios de la variabilidad de parámetros involucran varios términos. Estos incluyen:

**Población** – este es el número total de objetos identificables que podrían medirse. Una bolsa de 50 kg de granalla de acero tamaño 110 contendrá alrededor de doscientos cincuenta millones de partículas. El tamaño de la población sería, por lo tanto, de doscientos cincuenta millones. Tardaría alrededor de ochenta años medir toda la población, si nos lleva diez segundos por partícula para medir solo un parámetro. ¡Esto nos lleva a la necesidad de seleccionar una muestra verdaderamente representativa!

**Tamaño de la muestra** – este es el número de objetos identificables seleccionados adecuadamente como representativos de toda la población. Un "número adecuado" dependerá de la variabilidad del objeto y la facilidad de realizar mediciones individuales. Cuanto mayor sea la variabilidad, mayor será el tamaño de la muestra necesario para que sea representativa.

**Distribución de parámetros** – los valores medidos, de parámetros, para una muestra particular pueden tener diferentes "distribuciones". Una distribución frecuentemente encontrada es la "Distribución Normal", que tiene una forma de campana y sería apropiada para la granalla de alambre cortado. Sin embargo, la granalla de acero fundido tiene una distribución de tamaño diferente, con una probabilidad cero por encima de cierto tamaño de tamiz pero que disminuye a partículas muy finas que han pasado por el tamiz más pequeño.

**Rango y Promedio** – el rango es la diferencia entre la medida más grande y la más pequeña realizadas en una muestra. El Promedio (o Media) es el total de las mediciones dividido por el número de mediciones.

#### ANALIZANDO LA VARIABILIDAD DE LA PRECISIÓN

La precisión de cualquier medición individual la determinan tres factores de variabilidad. Que son:

1. Variabilidad de los parámetros,
2. Variabilidad de los instrumentos y
3. Variabilidad de la técnica.

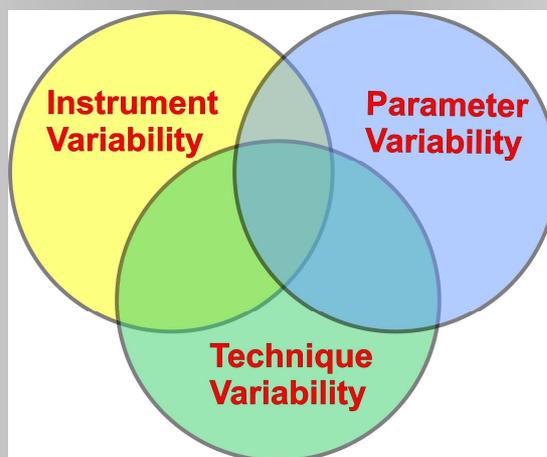


Fig.5. Factores que afectan a la precisión.

#### Variabilidad de los parámetros

Cada parámetro de shot peening tiene variabilidad. Por ejemplo, la Fig.3 ilustra la variabilidad del tamaño de la indentación. Sin embargo, diferentes parámetros varían de diferentes maneras. Por ejemplo, la variabilidad del diámetro de la granalla de alambre cortado es muy diferente a la de la granalla de acero fundido. El tipo de variación afecta la forma en que se puede medir y controlar, junto con su importancia.

#### Variabilidad del instrumento

La variabilidad del instrumento ocurre cuando un instrumento indica diferentes valores para mediciones repetidas realizadas en la misma muestra. Por ejemplo, un medidor Almen de alta precisión puede indicar valores ligeramente diferentes para la altura del arco cuando se mide varias veces la misma placa granallada. Las causas de la variación de la medición son normalmente identificables e involucran una combinación de factores del operario e instrumentales. Los principales fabricantes de instrumentos generalmente intentan contrarrestar la variabilidad de medición. Cada caso, sin embargo, es diferente, lo que dificulta la generalización.

El método estándar para contrarrestar la variación de la medición es tomar el promedio de las mediciones repetidas en la misma muestra. Si dos mediciones sucesivas son idénticas, se asume generalmente que no hay una variación significativa y el promedio se calcula automáticamente. Si, por otro lado, dos mediciones sucesivas son diferentes, se requiere una acción adicional. Si la diferencia es solo una unidad del instrumento, uno puede tomar el promedio o tomar una tercera medición. Para tres mediciones con dos iguales y una que difiere en solo un dígito medible, generalmente se acepta el valor de las dos mediciones idénticas.

## **Variabilidad de la técnica**

Los errores surgen cuando una técnica de medición tiene un elemento de subjetividad. Un ejemplo clásico de shot peening es la medición de la altura del arco utilizando un medidor Almen. Los cursos de formación incluyen métodos para minimizar la variabilidad de la medición.

## **PRECISIÓN Y EXACTITUD**

Debemos tener cuidado con las afirmaciones implícitas dudosas sobre precisión y exactitud. Por ejemplo: un fabricante puede mostrar que se ha realizado una medición de cobertura del 36,8279634% en una muestra particular utilizando su equipo. Esto no puede tomarse como que la cobertura real tiene precisamente ese valor. En realidad, refleja el método que se ha utilizado, como contar los píxeles de un área que se ha escaneado y asignarlos en una base de sí o no según si corresponden a indentaciones o no. La importancia de la técnica de medición se puede ilustrar considerando lo siguiente: imagine que se midieron las longitudes de dos objetos, utilizando una regla de oficina, hasta el milímetro más cercano.

El objetivo es obtener la relación de sus longitudes. Si las dos longitudes son 4,7 y 7,1 mm,

¿cómo se debe expresar la relación? La Calculadora de Microsoft devolvería un valor de 0,66197183098591549295774647887324. Implicar tal precisión y exactitud es claramente erróneo. Solo podemos incluir correctamente un dígito más que los de las mediciones mismas. Por lo tanto, 0,662 es mucho más apropiado (4,7 y 7,1 tienen dos dígitos).

## **PRECISIÓN EN GRÁFICOS**

Los gráficos son una forma espléndida de ilustrar tendencias, pero solo si son el reflejo de una utilización razonablemente precisa de los datos involucrados. La forma de una curva ajustada también puede revelar información útil.

Todos los usuarios de shot peening están familiarizados con las llamadas "Curvas de saturación". Se dibujan con ecuaciones adecuadas a los datos de las alturas de arco en un conjunto de al menos cuatro placas Almen granalladas. La Fig.6 ilustra los beneficios de emplear más de cuatro. La forma adecuada de una curva de saturación está bien definida, por lo que el uso de seis placas granalladas revela cualquier desviación significativa.

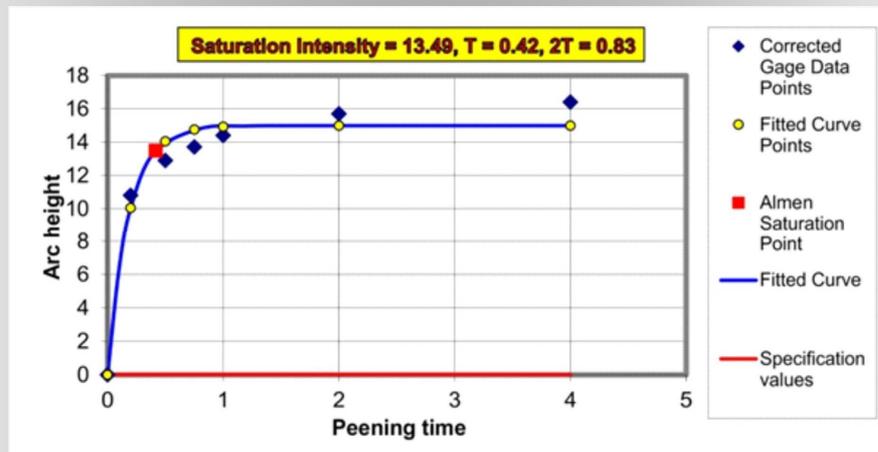


Fig.6. Curva de saturación que muestra una desviación significativa.

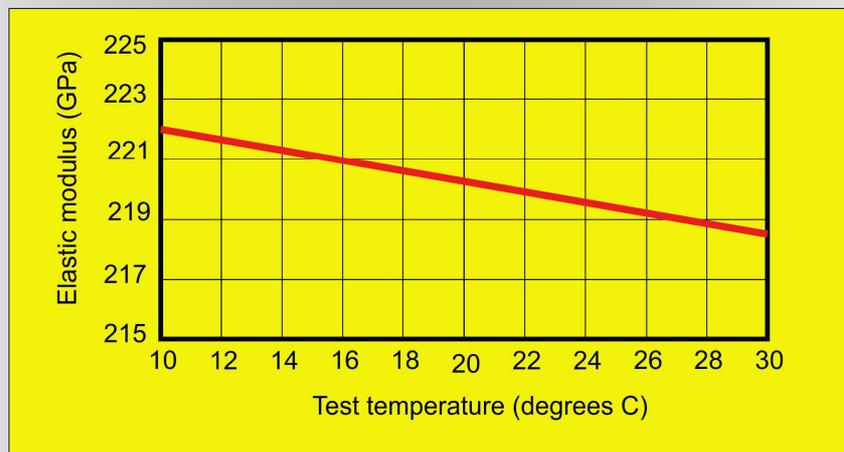
## EN GENERAL

Para interpretar con precisión los gráficos de shot peening, es importante considerar todo lo que podría haber afectado los datos. La deflexión de las placas Almen granalladas depende, por ejemplo, de su módulo elástico. La ecuación (1) es una forma simplificada de la ecuación (5) que aparece en la edición de otoño de la revista The Shot Peener de 2009.

$$h = K/E(1)$$

donde **h** es la altura del arco de Almen, **K** es una constante y **E** es el módulo de elasticidad de la placa. Por lo tanto, cuanto menor sea el módulo de elasticidad de la placa, mayor será la altura del arco inducida por un tratamiento de shot peening dado. El módulo de elasticidad puede verse afectado de varias maneras, principalmente por la orientación principal de los granos del acero. Un factor comúnmente pasado por alto es la temperatura de prueba, ya que solo tiene un pequeño efecto sobre la altura del arco medida de una placa granallada dada. La Fig.7 muestra cómo la elasticidad de una placa Almen se ve afectada por la temperatura ambiente.

Leyendo desde la Fig.7, el módulo de elasticidad a 28 °C es 2 GPa menor que a 16 °C. 2 GPa es aproximadamente el 1% del módulo de elasticidad. Por lo tanto, la altura del arco medida en una placa granallada dada será aproximadamente un 1% mayor a 28 °C que si se midiera a 16 °C.



Efecto de la Tª en el modulo elástico E de las placas Almen.

## **CONCLUSION**

Este artículo ha intentado destacar los problemas relacionados con la precisión de las mediciones en shot peening. La mayoría de los problemas son familiares para los usuarios de shot peening. Sin embargo, a veces, gestionar alguno de estos problemas es como cruzar un campo minado. Se requiere vigilancia constante.

Archivar datos es de vital importancia y no es difícil de lograr. Se pueden detectar tendencias para mostrar qué cambios están teniendo lugar con el tiempo. Luego se puede aplicar la corrección donde sea necesario. El equipo de medición debe ser mantenido y calibrado rutinariamente.

No todos los problemas que afectan la precisión están gobernados por especificaciones. Un ejemplo principal es el módulo de elasticidad de las placas Almen, que puede variar significativamente.



IPAR-BLAST, S.L.  
Parque Industrial Itziar-Deba  
Parcela 4 - Pabellón F2-5  
20829 ITZIAR (Guipúzcoa)  
TEL. 943 820 516  
FAX. 943 820 619  
shot-peening@ipar-blast.com



**Electronics Inc.**  
*Shot Peening Control*

ELECTRONICS INC.  
56790 Magnetic Drive  
46545 MISHAWAKA (Indiana )  
EE.UU.  
TEL: 574-256-5001 / 800-832-5653  
FAX: 574-256-5222  
www.electronics-inc.com