



Shot Peening utilizado en componentes sujetos a esfuerzos de flexión y torsión

García-Lira Jesús*, Arenas Romero Juan José*, García Sotuyo Eduardo*

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es dar a conocer el tratamiento de Shot Peening, demostrando su influencia sobre los materiales metálicos induciendo esfuerzos residuales de compresión en la superficie de los materiales. Uno de los principales beneficios que aportan estos tratamientos superficiales es que se introduce un campo de esfuerzos residuales de compresión en las cercanías de la superficie, zona donde ayuda a aumentar la fatiga apareciendo altos valores de tensiones como consecuencia del contacto. Se darán a conocer los múltiples usos en la industria, particularmente en los componentes que esta sujetos a esfuerzos de flexión y torsión como en muelles, balancines, uniones soldadas, piezas de aeronaves, ejes de transmisión, árboles de elevas, barras de torsión, etc.

ABSTRACT

The objective of this work is to publicize the Shot Peening treatment, demonstrating its influence on metallic materials, inducing residual compression stresses on the surface of the materials. One of the main benefits provided by these surface treatments is that a field of residual compressive stresses is introduced in the vicinity of the surface, an area where it helps to increase fatigue, with high stress values appearing as a result of contact. The multiple uses in the industry will be disclosed, particularly in components that are subject to bending and torsion efforts such as springs, rockers, welded joints, aircraft parts, transmission shafts, lift shafts, torsion bars, etc.

Keywords: Shot Peening, fatigue, compression, surface, industry.

1. INTRODUCCIÓN

El Shot Peening o granallado es un procedimiento de plastificación en frío que consiste en martillar la superficie de la pieza con pequeñas bolas esféricas. Cada bola deja un impacto sobre la superficie de forma redondeada como si fuese un minúsculo martillo. Para que se forme esa huella, es necesario que la capa esté deformada en la superficie, figura 1. Bajo la superficie, el material comprimido intenta volver a su volumen inicial, creando así

tensiones de compresión de fuerte amplitud. El recubrimiento de las huellas permite obtener un esfuerzo residual de compresión isotrópica y uniforme [1].

Cada impacto individual origina una pequeña huella, que produce el aplastamiento de los granos superficiales del material, que se deforman, comprimiéndose entre sí, y provocando la aparición de un campo de tensiones de compresión paralelo a la superficie de la pieza. Cuando la totalidad de la superficie esté cubierta por estos pequeños impactos, se creará un campo de esfuerzos de compresión uniforme.

Existen una multitud de parámetros que influyen en el tratamiento de Shot Peening, que a su vez interaccionan entre sí como la velocidad de proyección de la granalla, ángulo de impacto, flujo másico de granalla, etc. [2-4]. La intensidad del flujo de la energía del chorro de proyectiles que impacta contra la superficie del material genera los esfuerzos de compresión. Este proceso hoy en día está perfectamente estandarizado y es reconocido y aceptado en todo el mundo.



Figura 1. Huella formada por el impacto en el proceso de Shot Peening

Cabe señalar que el proceso de Shot peening también puede modificar el acabado superficial del material tratado, efecto que en algunas ocasiones juega a favor y otras ocasiones en contra del esperado aumento de la vida a la fatiga. Si el proceso de Shot peening está bien diseñado, este jugará un papel importante a favor que, en contra, ya que en situaciones prácticas cuando un componente falla debido a fatiga o a corrosión bajo tensión, la rotura suele tener su origen en la superficie o en sus cercanías, [5] especialmente bajo cargas de flexión o torsión, donde la mayor tensión se induce en la superficie de la pieza, figura 2.

* Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI), Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME). Unidad profesional, AZCAPOTZALCO, Av. de las Granjas No. 682, Col. Sta. Catarina Azcapotzalco, C.P. 02550, México. jgarcialira@gmail.com, jjarenasr@gmail.com

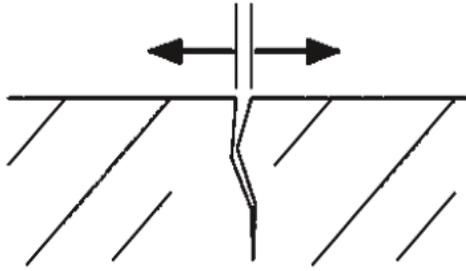


Figura 2. Iniciación de Grieta y Propagación. Bajo Tensión de Tracción.

El Shot Peening es el método más económico y el más práctico para introducir esfuerzos residuales de compresión. Por lo tanto, el shot peening se utiliza principalmente para luchar contra la fatiga en los materiales metálicos, [6]. Las siguientes indicaciones se basan en la fatiga de los metales y a su representación típica, la figura 3 se observa en la curva la duración de vida con arreglo a la tensión aplicada en los metales.

1. El cargamento a fatiga está formado de decenas de miles hasta millones de ciclos de solicitaciones repetitivas. Las solicitaciones crean tensiones de tensión aplicadas que estiran la superficie y tienden a desgarrarla.
2. Una reducción lineal de la tensión de tracción aplicada induce un aumento exponencial de la duración de vida y de la cantidad de ciclos a fatiga. La curva (figura 4) muestra que a 810 MPa la reducción del cargamento de un 32% ocasiona un aumento de la duración de vida de un 300% (+150 000 ciclos).

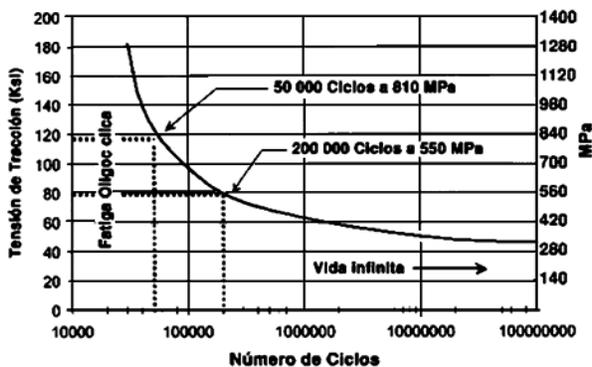


Figura 3. Duración de vida en función de la tensión Aplicada

1.1. Parámetros que influyen en el tratamiento de shot peening

Las características del material de la pieza a tratar influyen de manera considerable a la hora de elegir los parámetros del tratamiento, por lo que el resultado de este tratamiento depende de las características de la máquina y de los proyectiles seleccionados, así como del comportamiento mecánico del material tratado.

Los tres parámetros fundamentales que se utilizan para caracterizar los tratamientos de shot peening son el tipo de proyectiles que se

van a disparar, siendo su geometría, dimensiones, naturaleza y dureza, la intensidad con la que se va a llevar a cabo el tratamiento y la cobertura del mismo.

La eficacia del tratamiento radica en la correcta elección de cada uno de los tres parámetros anteriormente mencionados y que serán desarrollados más ampliamente a continuación.

a). Tipos de bolas

El tipo de proyectil o bola utilizados en el tratamiento de shot peening suele mostrar la forma de esferas, que pueden ser de acero, cerámica e incluso vidrio, figura 4. Normalmente se suele usar proyectiles lo más esféricos posibles, ya que, de otro modo, por ejemplo, las formas angulares; al impactar con la superficie a tratar podrían arrancar fragmentos de material que podrían incluso disminuir la vida a la fatiga.



Figura 4. Bolas de acero clasificado según un número característico normalizados según la norma SAE en el Standard SAE J444

También se realiza un tratamiento doble de shot peening de acabado por vibración con el objeto de mejorar la resistencia a la fatiga de los aceros y este consiste en proyectar proyectiles en trozos de alambre que se lanzan sucesivamente sobre placas muy duras de manera que se acondiciona y se redondea, este tipo de proyectil, es más resistente a los impactos que el de bola pero de cualquier manera, su tamaño va disminuyendo con el tiempo, por lo que es importante también separar continuamente los proyectiles deteriorados, figura 5.



Figura 5. Bolas de acero de alambre cortado (cut wire)



b). Granalla de fundición de hierro esférico

Comprende granallas de fundición gris, blanca y maleable, se utilizan en aquellos casos donde se requiere efectuar un trabajo de shot peening de bajo costo inicial. Esto se debe al bajo costo relativo de estas granallas, a pesar de tener una vida útil muy inferior a las del acero debido a su mayor fragilidad. En cuanto a las granallas de fundición nodular se utilizan en escala muy limitada pues debido a su dureza las intensidades logradas son pobres y además dejan residuos de grafito en las piezas granalladas.

c). Microesferas de vidrio (glass bead) o cerámica

Se utilizan para conformado de chapas delgadas, logrando valores de intensidad bajo. Se utilizan para hacer shot peening en chapas de acero inoxidable o materiales no ferrosos que no puedan ser contaminados con abrasivos de acero al carbono.

1.2. Efecto del shot peening

Con ayuda de equipo de difracción de rayos X, es utilizado para la eliminación de material en la superficie y así poder medir las tensiones que se han generado con el shot peening obteniéndose así un perfil de esfuerzos residuales, [7] producidos por el proceso de shot peening; figura 6, este perfil de tensiones tiene tres parámetros característicos que se definen de la siguiente manera:

- Tensión en la superficie; la tensión de compresión residual generada en la superficie de la muestra, no suele ser nunca la tensión máxima generada que suele aparecer a una cierta distancia de la superficie.
- Tensión de compresión máxima; es el valor absoluto máximo que alcanza la tensión residual de compresión. Suele aparecer a sólo unos pocos micrómetros de la superficie.
- Profundidad de la capa comprimida; es la profundidad de la capa que ha quedado sometida a tensiones residuales de compresión. Más allá de este punto aparecerán tensiones de tracción, también en este punto aparecerán tensiones de tracción, que equilibran a las anteriores. La profundidad de esta capa aumenta al hacerlo la energía de los proyectiles en el momento del impacto. Cuanto mayores sean las tensiones de compresión y más profunda sea la capa citada, mayor será la resistencia a la propagación de grietas de fatiga.

La dureza del material influye en las tensiones máximas de compresión generadas como en la profundidad que alcanzan las mismas.

Debe tenerse siempre en cuenta que tras aplicación de un tratamiento de shot peening sobre una superficie, la tensión resultante que actuará sobre la misma durante su servicio bajo cargas mecánicas será la suma de la tensión [7,8].

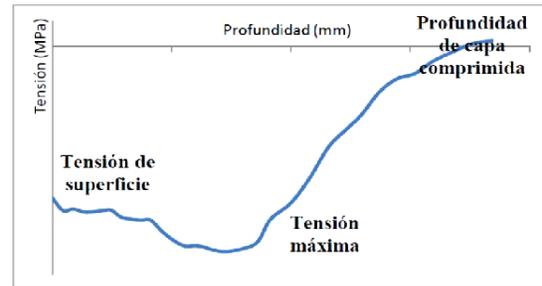


Figura 6. Perfil de tensiones residuales

La figura 7 se observa una barra sometida a flexión en tres puntos, donde la tensión máxima se localiza en la superficie de la barra. Por otro lado, la curva que se marca en trazo discontinuo, representa la tensión residual que se ha introducido en un tratamiento de shot peening. Finalmente, la curva mostrada en trazo continuo representa la tensión resultante de sumar ambas

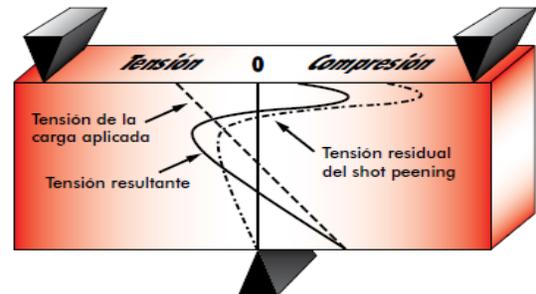


Figura 7. Tensión Resultante Sobre una Barra Shot Peening con una Carga Externa

Observando la figura 7, se puede ver que el tratamiento de shot peening se encarga de introducir una tensión de compresión localizada en la región superficial de la barra de gran amplitud. Los tratamientos de shot peening son especialmente efectivos, por un lado, ante cargas de flexión y torsión, ya que éstas dan lugar a tensiones locales máximas en las superficies de los componentes [9] y, por tanto, cuando en la superficie de los componentes existen concentradores de tensión de tipo geométrico, como pueden ser agujeros, estriados, entallas, etc., que pueden dar lugar a fuertes aumentos locales de la tensión actuante.

Por lo tanto, se puede decir que el tratamiento de shot peening es especialmente adecuado para tratar materiales de altas características mecánicas, ya que la tensión de compresión generada aumenta al hacerlo la resistencia mecánica del material y además son estos materiales de alta resistencia los más susceptibles a las acciones de fatiga.

1.3. Rugosidad

Uno de los efectos más visibles de un tratamiento de shot peening es la modificación del acabado superficial del material tratado en virtud de las huellas generadas por cada uno de los impactos, [11].



La rugosidad de la superficie tratada por shot peening se puede definir como el conjunto de irregularidades o imperfecciones de la superficie real definidas en una sección donde los errores de forma y las ondulaciones han sido eliminados [12].

1.4. Equipo para Shot Peening

Los equipos utilizados para efectuar Shot Peening son esencialmente similares a los empleados para otras tareas de granallado, con el agregado de una instalación auxiliar que permite realizar el más estricto control de los parámetros de ejecución, figura 8. En cuanto a la impulsión de la granalla hay dos métodos utilizados a saber:

- i). El empleo de una turbina que impulsa la granalla a alta velocidad mediante una combinación de fuerzas radial y tangencial. Las ventajas del método incluyen la facilidad en el control de la velocidad y la alta capacidad de producción.
- ii). El uso de aire comprimido en un flujo a alta velocidad como medio de arrastre e impulsión de las partículas [13].



Figura 8. Equipos de Shot Peening

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Como metodología experimental se darán ejemplos típicos del shot peening o granallado, un caso particular dentro de la gama del granallado, mediante el cual se inducen tensiones de compresión en una superficie metálica, exponiéndola a un chorro de partículas esféricas a alta velocidad y manteniendo controlados los parámetros de la operación.

Durante el granallado, además de producir el efecto mencionado se limpia la superficie del material y como una tarea normal de

granallado, pero éste es sólo un efecto secundario del proceso, siendo el propósito básico el incremento de la resistencia a la fatiga del material. Acción de martillado con partículas esféricas (shot peening).

Cuando la granalla, de forma esférica, es impulsada en un flujo de alta velocidad, impacta sobre la superficie metálica conformando en la misma un perfil superficial constituido por valles y crestas redondeadas y productos por la deformación plástica del metal durante el impacto. Dicha deformación se extiende entre los 50 y 250 micrones de profundidad. [14,15].

El efecto obtenido luego del granallado constituye el aplastamiento de los granos metalográficos de la superficie del metal. Con ello, se produce dos efectos:

- Los granos se ensanchan comprimiéndose entre sí y provocando la aparición de tensiones de compresión paralelas a la superficie. Estas tensiones de compresión anulan tensiones residuales inducidos en procesos anteriores como mecanizado, tratamiento térmico, conformación plástica, etc. Y además se oponen a toda sollicitación a la tracción a que sea sometida en una utilización posterior.
- Como efecto secundario al ensancharse los granos cubren los espacios intergranulares reduciéndolos considerablemente y con ello la velocidad de corrosión galvánica.

En resumen, el shot peening aumenta la resistencia a la fatiga particularmente en resortes, elásticos, flejes, barras estabilizadoras de coches, engranajes bielas, soldaduras, árboles de levas y como efecto secundario produce un aumento de la resistencia a la corrosión, la eliminación de esfuerzos residuales induciendo una tensión de compresión uniforme en toda la superficie de las piezas y además de limpiarla mediante el granallado, la figura 9, se dan algunas aplicaciones.



Partes automotrices



Piezas varias y Soldadura



Engranajes y cremalleras

Figura 9. Piezas con proceso de shot peening o granallado

2.1. Medición de los esfuerzos residuales

La medición de los esfuerzos residuales en el shot peening es muy importante ya que a partir de los valores obtenidos se puede controlar las variables para obtener un adecuado proceso. Estas mediciones del esfuerzo residual se pueden obtener a partir de medición directa y medición indirecta. Además se pueden clasificar en métodos de ensayo destructivo (Hole drilling, ring core, seccionado, entren otros) y no destructivos (Difracción de rayos X, difracción de neutrones, métodos magnéticos y métodos de ultrasonido), [12,13].

Factores como la destrucción o no de la muestra, el costo de los equipos, la precisión del análisis, el tiempo de realización de las pruebas y la profundidad del análisis, son los más importantes para la selección del método adecuado de medición de esfuerzos residuales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento de los metales ante el proceso de shot peening de los aceros con altas características tienen una amplitud de tensión residual inducida por este proceso. Los materiales los más resistentes/duros son también los más quebradizos y sensibles al efecto de entalla, estos defectos pueden ser superados por el shot peening autorizando el empleo de metales con muy altas características para aplicaciones de fatiga.

Por ejemplo, los trenes de aterrizaje aeronáuticos están fabricados a menudo de acero y aplicando shot peening obtendrá resistencias

que van de 2000 MPa o más, así como componentes de la industria minera, varillas de pistones, muelles de tracción y torsión

La figura 10, establece la relación entre el shot peening y el uso de materiales de varias características. Sin shot peening, la resistencia óptima a la fatiga de los aceros mecanizados se sitúa al alrededor de 30HRc. A niveles de resistencias más importantes, los metales pierden resistencia a la fatiga por causa de su gran sensibilidad a las entallas y de su fragilidad. Sumando las tensiones residuales de compresión, la resistencia a la fatiga de los metales aumenta en proporción con el aumento de su resistencia/dureza. A 52 HRc, el límite de fatiga entre materiales con shot peening sube a 990 MPa con el doble del límite de materiales lisos/polidas sin shot peening. [1-4].

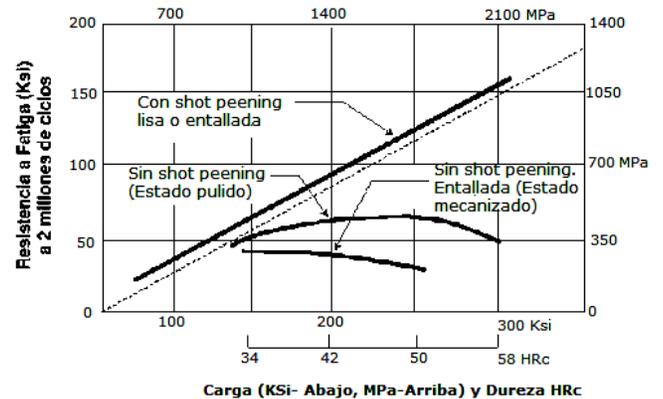


Figura 10. Resistencia a Fatiga en Función del límite de Rotura

Las aplicaciones típicas que toman ventaja de la óptima resistencia a la fatiga de los aceros con alta resistencia/dureza son los utilajes portátiles neumáticos y de percusión, figura 12. Además, el comportamiento a fatiga de las piezas Shot Peenizadas no se encuentra afectado por las entallas pequeñas que tienen un efecto muy negativo sobre los aceros con altas características [11].



Figura 11. Piezas con alta resistencia a la fatiga (biela)

La cobertura es definida como el porcentaje de la superficie que ha sido impactada por el proceso de shot peening por lo menos una vez con respecto a la superficie inicial de la pieza. Sin embargo, es muy complicado obtener mediciones de cobertura mayores de un 98%, por lo tanto, se denomina cobertura total o completa a un



valor de cobertura de por lo menos un 98% se refiere a la huella que deja la bola a ser impregnada en la superficie del material, esto se observa en la figura 12 la diferencia entre una cobertura total y una parcial aplicando el tratamiento de shot peening, [12-15].

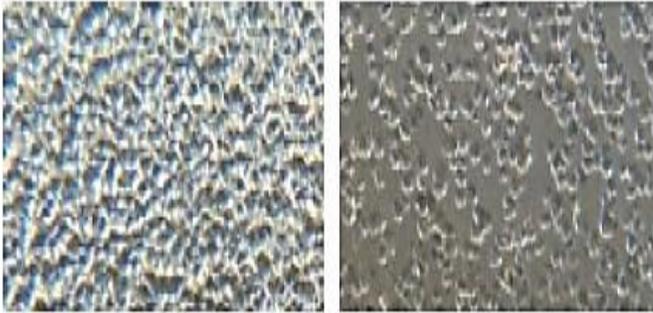


Figura 12. Cobertura completa y parcial de Shot Peening en superficies de los metales.

La determinación de la cobertura se realiza en la respectiva área a realizar el shot peening, estas áreas incluirán regiones con formas que son de difícil acceso y la inspección visual es usada con una magnificación superficial de 10X a 30X. Cuando la cobertura visual con aumento de 10X a 30X no es limpia, es recomendable utilizar un método alternativo como son los líquidos penetrantes.

4. CONCLUSIONES

Podemos concluir lo siguiente:

El shot peening es una tecnología especial de tratamiento de superficie del campo de granallado en las piezas mecánicas, para incrementar la resistencia a la fatiga de los componentes sometidos a fuerte tensión.

El shot peening es un proceso en frío donde la superficie del componente es granallada esférica y esta, funciona como un pequeño martillo que, de forma controlada y siguiendo parámetros bien definidos, genera una compactación superficial y bajo la superficie, el material comprimido intenta volver a su volumen inicial creando así, tensiones de compresión de fuerte amplitud reduciendo notablemente la posibilidad de roturas del material

El abrasivo utilizado, puede ser granalla de acero al carbono, granalla de acero inoxidable, hierros colados, cerámica o microesferas de vidrio.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] Horger; Mechanical and Metallurgical Advantages of Shot Peening – Iron Age Reprint 1945
- [2]. Hatano and Namitki; Application of Hard Shot Peening to Automotive Transmission Gears, Special Steel Research Laboratory, Daido Steel Company, Ltd., Japan.
- [3]. Challenger; Comparison of Fatigue Performance Between Engine Crank Pins of Different Steel Types and Surface

Treatments, Lucas Research, Center, Solihull, England, July 1986

- [4]. Properties and Selection, Metals Handbook, Eighth Edition, Vol. 1, pp. 223-224.
- [5]. Jackson and Pochapsky; The Effect of Composition on the Fatigue Strength of Decarburized Steel, Translations of the ASM, Vol. 39.
- [6]. Bush; Fatigue Test to Evaluate Effects of Shot Peening on High Heat Treat Steel - Lockheed Report No. 9761.
- [7]. <https://dir.indiamart.com/impcat/shot-peening-services.html>
- [8]. Gassner; Decarburization and Its Evaluation by Chord Method, Metal Progress, March 1978.
- [9]. Keough, Brandenburg, Hayrynen; Austempered Gears and Shafts: Tough Solutions, Gear Technology March/April 2001.
- [10]. Palmer; The Effects of Shot Peening on the Fatigue Properties of Unmachined Pearlitic Nodular Graphite Iron Specimens Containing Small, Cast Surface Imperfections, BCIRA Report #1658, The Casting Development Centre, Alvechurch, Birmingham, UK.
- [11]. Oshida and Daly; Fatigue Damage Evaluation of Shot Peened High Strength Aluminum Alloy, Dept. of Mechanical and Aerospace Engineering, Syracuse University, Syracuse, NY
- [12]. Technical Review, Progress in the Application of Shot-Peening Technology for Automotive Engine Components, Yamaha Motor Co., Ltd., 1998.
- [13]. McGann and Smith; Notch Low Cycle Fatigue Benefits from Shot Peening of Turbine Disk Slots.
- [14]. Sonsino, Schlieper, Muppmann; How to Improve the Fatigue Properties of Sintered Steels by Combined Mechanical and Thermal Surface, Treatments, Modern Developments in Powder Metallurgy, Volume 15 - 17, 1985.
- [15]. Link, Kotthoff; Suitability of High Density Powder Metal Gears for Gear Applications; Gear Technology, January/February 2001.
- [16]. O'Brian; Impact and Fatigue Characterization of Selected Ferrous P/M Materials, Annual Powder Metallurgy Conference, Dallas, TX. May 1987.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Jesús García Lira: Ingeniero Metalúrgico egresado de ESQIE del Instituto Politécnico Nacional, Maestro en ciencias en Ingeniería Metal Mecánica, UNAM y Candidato a Doctor en Ciencias por la SEPI ESIME IPN. jgarcialira@gmail.com jjarenasr@hotmail.com.mx

Juan José Arenas Romero: Ingeniero Metalúrgico egresado de ESQIE del Instituto Politécnico Nacional, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica SEPI ESIME IPN. jgarcialira@gmail.com, jjarenasr@hotmail.com.mx

Eduardo García Sotuyo: Ingeniero Mecatrónica, egresado de la Universidad Politécnica, Doctor en Tecnología Avanzada. jgarcialira@gmail.com, jjarenasr@hotmail.com.mx