



Recepción: 21 / 03 / 2018

Aceptación: 27 / 06 / 2018

Publicación: 24 / 08 / 2018



Ciencias técnicas y aplicadas  
Artículo de investigación

## **Caracterización de metales por técnicas metalográficas aplicando métodos estadísticos de calidad "Six sigma de Comprobación"**

## **Characterization of metals by metallographic techniques applying statistical methods of quality "Six sigma of Verification"**

## ***A Caracterização de metais por técnicas metalográficas aplicando métodos estatísticos de qualidade "Six Sigma of Verification"***

Eder L. Cruz-Siguenza <sup>I</sup>

[eder.cruz@esPOCH.edu.ec](mailto:eder.cruz@esPOCH.edu.ec)

Wilson J. Villagrán-Cáceres <sup>II</sup>

[wvillagran@esPOCH.edu.ec](mailto:wvillagran@esPOCH.edu.ec)

Carlos R. Cepeda-Godoy <sup>III</sup>

[ccepeda@esPOCH.edu.ec](mailto:ccepeda@esPOCH.edu.ec)

Edison P. Abarca-Pérez <sup>IV</sup>

[edison.abarca@esPOCH.edu.ec](mailto:edison.abarca@esPOCH.edu.ec)

Pablo Andrés Lapo-Aguirre <sup>V</sup>

[pablo.lapo@esPOCH.edu.ec](mailto:pablo.lapo@esPOCH.edu.ec)

**Correspondencia:** [eder.cruz@esPOCH.edu.ec](mailto:eder.cruz@esPOCH.edu.ec)

<sup>I</sup> Magister en Gestión de la Calidad y Productividad, Ingeniero Industrial Mención Gestión de Procesos, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

<sup>II</sup> Magister en Matemática Básica, Ingeniero en Electrónica y Computación, Tecnólogo en Informática Aplicada, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

<sup>III</sup> Magister en Seguridad Industrial Mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional, Ingeniero Mecánico, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

<sup>IV</sup> Magister en Diseño Producción y Automatización Industrial, Ingeniero Mecánico, Docente de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

<sup>V</sup> Estudiante de la Facultad de Mecánica en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

## **Resumen**

La metalografía consiste en el estudio de la constitución y la estructura de los metales y las aleaciones. Además, se realizarán la determinación del material por medio de la chispa que esta probeta para nuestro caso un piñón de una motocicleta 428-14T. La microestructura revelará el tratamiento mecánico y térmico del metal y podrá predecirse cómo se comportará mecánicamente. Como consecuencia de ello también es posible deducir las variaciones que experimentan sus propiedades mecánicas (dependiendo de los constituyentes metalográficos presentes en la estructura). El examen de la microestructura es muy útil para determinar si un metal o aleación satisface las especificaciones en relación a trabajos mecánicos, tratamientos térmicos y composición general. Para ello utilizamos el Six Sigma como herramienta para analizar el número de granos de la microestructura, y verificárselos datos obtenidos se están dentro del rango aceptable. La microestructura es un instrumento para analizar las fallas metálicas y para controlar procesos industriales.

### **Palabras clave:**

## **Abstract**

Metallography consists in the study of the constitution and structure of metals and alloys. In addition, the determination of the material is made by the means of the spark that is tested for our case a pinion of a motorcycle 428-14T. The microstructure stopped working the mechanical and thermal treatment of the metal and predicted how it would behave mechanically. As a consequence, it is also possible to deduce the variations that its mechanical properties undergo (depends on the metallographic constituents present in the structure). The examination of the microstructure is very useful to determine if a metal or alloy meets the specifications in relation to mechanical work, heat treatments and general composition. For this we use the Six Sigma as a tool to analyze the number of grains of the microstructure, and verify the data obtained within the acceptable range. The microstructure is an instrument to analyze metal faults and to control industrial processes.

### **Keywords:**

## Resumo

A metalografia consiste no estudo da constituição e estrutura de metais e ligas. Além disso, a determinação do material será feita por meio da faísca que esta peça de teste para o nosso caso, um pinhão de uma motocicleta 428-14T. A microestrutura revelará o tratamento mecânico e térmico do metal e pode ser previsto como ele se comportará mecanicamente. Como consequência disso, também é possível deduzir as variações pelas quais suas propriedades mecânicas sofrem (dependendo dos constituintes metalográficos presentes na estrutura). O exame da microestrutura é muito útil para determinar se um metal ou liga atende às especificações em relação ao trabalho mecânico, tratamentos térmicos e composição geral. Para isso, usamos o Seis Sigma como uma ferramenta para analisar o número de grãos da microestrutura e verificar se os dados obtidos estão dentro da faixa aceitável. A microestrutura é um instrumento para analisar falhas de metal e controlar processos industriais.

### Palavras chave:

## Introducción

### Aceros y su clasificación

El acero es una aleación de hierro con carbono en una proporción que oscila entre 0.0008 y 2%.

Se le puede añadir otros elementos para mejorar su dureza maleabilidad y otras propiedades.

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución. Antes del tratamiento térmico la mayoría de los aceros son una mezcla de tres sustancias, ferrita, perlita, cementita. La ferrita, blanda y dúctil, es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución. La cementita es un compuesto de hierro con el 6.67% de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza. La perlita es una mezcla de ferrita y cementita, con una composición específica y una estructura característica, sus propiedades físicas con intermedias entre las de sus dos componentes. La resistencia y dureza de un acero que no ha sido tratado térmicamente, depende de las proporciones de estos tres ingredientes. Cuanto mayor es el contenido en carbono de un acero menor es la cantidad de ferrita y mayor de la perlita: cuando el acero tiene un 0.8% de carbono esta por compuesto de perlita. El acero con cantidades de carbono mayores es una mezcla de perlita y cementita.

## **Clasificación del acero**

### **Los aceros se clasifican principalmente:**

#### **Aceros al carbono**

El 90% del acero son al carbono. Este acero contiene una cantidad diversa de carbono, menos del 1.65% de manganeso y 0.6% de silicio, aproximadamente. Con este tipo de acero se fabrican máquinas, carrocerías de automóvil, estructuras de construcción, pasadores de pelo, ganchos para ropa, etc.

#### **Aceros aleados**

Estos aceros están compuestos por una proporción determinada de vanadio molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono. Estos aceros se emplean para fabricar engranajes, ejes cuchillos, etc.

#### **Aceros inoxidables**

Estos aceros contienen cromo, níquel y otros elementos de aleación que mantiene resistentes, manteniendo esa resistencia durante mucho tiempo a temperaturas extremas. Debido a su brillo, los arquitectos lo emplean mucho con fines decorativos. También se emplean mucho para tuberías depósitos de petróleo y productos químicos, por su resistencia a la oxidación y para la fabricación de instrumentos quirúrgicos o sustitución de huesos, porque resiste a la acción de fluidos corporales. Además, se usa para la fabricación de útiles de cocina.

#### **Aceros para herramientas**

Estos aceros se emplean para fabricar herramientas, cabezales de corte y modelado de máquinas. Contienen wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación que la proporcionan una alta resistencia, dureza y durabilidad.

**La clasificación del acero se puede determinar también en función de su composición química.**

Acero al carbono. Se trata del tipo básico de acero que contiene menos del 3% de elementos que no son hierro ni carbono.

Acero de alto carbono. El acero al carbono que contiene más de 0.5% de carbono.

Acero de bajo carbono. Acero al carbono que contiene menos del 0.3% de carbono

Acero de mediano carbono. Acero al carbono que contiene entre 0.3 y 0.5 % de carbono.

Acero aleado. Acero que contiene otro metal que fue añadido intencionalmente con el fin de mejorar ciertas propiedades del metal.

Acero inoxidable. Tipo de acero que contiene más del 15% de cromo y demuestra excelente resistencia a la corrosión.

**Six Sigma**

Six Sigma, es una filosofía de trabajo y una estrategia de negocios, la cual se basa en el enfoque hacia el cliente, en un manejo eficiente de los datos y metodologías y diseños robustos, que permite eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3 ó 4 defectos por millón.

Por lo general la filosofía del Six sigma, trata sobre la correlación directa entre el número de defectos, los costos del despilfarro y el nivel de satisfacción del cliente. El Six Sigma estadísticamente mide la capacidad del proceso para operar libre de defectos o fallos. A continuación, consideremos el siguiente ejemplo, si fabricáramos 340 metros de manguera, se trabajará a un nivel tres sigmas, se esperaría que aproximadamente un metro de manguera podría quedar defectuosa, si la misma manguera se fabricara a un nivel de Six Sigma, únicamente un milímetro podría quedar defectuoso. Todo esto porque el Six Sigma se basa específicamente en la distribución normal, donde en  $\mu \pm 6\sigma$  se encuentran el 99.99% de las observaciones, lo que supone un porcentaje de error inferior al 0.01%, o sea, que el proceso trabaja libre de fallos como se dijo anteriormente.

De acuerdo a la gráfica presentada se puede observar la frecuencia de defectos o fallas que pueden ocurrir en un proceso, por ejemplo, mientras más alto sea el nivel de sigma, menos

defectos se tendrá, por lo que cuando exista una mayor sigma la fiabilidad del proceso será mejor, y por consiguiente la calidad será mejor y los costos se verán reducidos.

Si se desea trabajar con este método se tiene en cuenta la estrategia de trabajo que se basa en:

**Definir:** Lo primordial es buscar satisfacer los requisitos del cliente en todo el proceso de diseño y también en el diseño de los sistemas de producción. Se puede desarrollar a través de las cuatro casas de la calidad.

**Medir:** En esta fase, se seleccionan una o más características críticas, analiza el proceso, toma las medidas necesarias, registra los resultados, evalúa los sistemas de medición, y se estima la capacidad del proceso a corto plazo.

**Analizar:** En esta fase se hace un análisis, para explorar y dar un diagnóstico del problema a partir de la información obtenida en la fase de medición. En ella se identifica los factores que permiten lograr una mejora sustancial y lograr un mejor desempeño del proceso. En algunos casos es necesario en rediseñar el proceso o producto.

**Mejorar:** En esta fase se desarrolla en la práctica todas las estrategias de mejora. Se definen que factores se van a controlar para medir el efecto sobre las características críticas y se planifica la mejor forma de llevar a cabo la mejora, con el fin de buscar el desempeño óptimo del proceso.

**Controlar:** En esta fase se documenta el resultado de la mejora, y se diseña herramientas para monitorizar el proceso, una vez se haya validado que se han logrado los objetivos de mejora [10].

### Ensayos de dureza Brinell

En el ensayo de dureza Brinell el penetrador es una bola de acero extra duro de diámetro D, que se apoya sobre la probeta a estudiar; ejerciendo sobre la misma una fuerza P durante un tiempo t dado, aparece una huella de diámetro d sobre el metal.

$$HB = P/S$$

siendo S la superficie de la huella, casquete esférico. P se expresa en kg fuerza y S en mm<sup>2</sup>.

También puede expresarse de la siguiente manera:

$$HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

### Ensayo Vickers

El ensayo de dureza Vickers es, como el Brinell, un ensayo cuyo objetivo es la determinación de la superficie lateral, S, de la huella. El penetrador es una pirámide de diamante de base cuadrada, cuyo ángulo en el vértice es de  $136^\circ$

$$S = d^2/2 \operatorname{sen}68^\circ$$

con lo que:

$$HV = 2P \operatorname{sen}68^\circ/d^2 = 1.8544 P/d^2$$

La selección de la carga se realiza en función inversa a su dureza. La norma UNE 7054-73 establece los distintos aspectos de este ensayo. Como en el ensayo Brinell, la aplicación de la carga se realiza con una velocidad mínima,  $v_m$ , y se requiere un tiempo mínimo de permanencia,  $t$ , entre 15 y 20 segundos generalmente. La denominación de la dureza obtenida se realiza citando las siglas HV seguido de la carga utilizada, P, y del tiempo de permanencia, t, separado por barras, por ejemplo, [nHV/P/t]

### Ensayos Rockwell

En los ensayos de dureza Rockwell, las unidades de dureza se establecen por la medida de la profundidad, e, de la huella de acuerdo con el modelo:

$$HR = A - e(\text{mm})/0.002$$

#### **El ensayo es aplicable a todo tipo de materiales metálicos:**

**Blandos.** Se utiliza como penetrador una bola de acero templado, similar al del ensayo Brinell, con diámetros de bola y cargas normalizados para cada tipo de ensayos.

**Duros.** Se utiliza como penetrador un cono de diamante de  $120^\circ$  de ángulo de vértice redondeado en la punta. Se usan cargas normalizadas de 60, 100 y 150 kilogramos.

**Pequeños espesores en materiales blandos o duros.** Es el caso de flejes, chapas delgadas o también sobre capas endurecidas, cementadas o nitruradas. En este supuesto se usa la modalidad de pequeñas cargas especificadas en la norma, 3 kilogramos de precarga y 15, 30 o 45 kilogramos de carga. Se conoce este tipo de ensayos como Rockwell superficial.

## Ensayos Shore

La dureza puede evaluarse a través de la cualidad que muestran los materiales de devolver la energía potencial recibida,  $dE_0$ , por impacto de una masa que contacta con una determinada velocidad. El grado de endurecimiento,  $dH$ , es función inversa de la energía absorbida  $dE_a$ . Es decir:

$$dH = f(1/dE_a)$$

Cumplíndose que:

$$dE_a = dE_0 - dE_c$$

El equipo para medir la dureza elástica se denomina escleroscopio, que es un dispositivo para medir la altura de rebote de un pequeño martillo, con punta de saúco o diamante, después de que cae por su propio peso desde una altura definida sobre la superficie de la pieza a prueba. (upv, n.d.)

## Metodología

Obtención del material de trabajo (probeta)

Consiste en remover una muestra del material analizado teniendo en cuenta las convenciones en tamaño y que tan representativa es dicha porción del total a analizar. Escoger la superficie de estudio (en este caso será la superficie transversal).

### Uso del material

Información Básica

No. de Modelo: haida-14T

Solicitud: Motocicleta

Método de fabricación: Rodando Gear

Forma dentada Porción: Spur Gear

Tipo: engranaje circular

Proceso de fabricación

La parte frontal S Procket uso material de 20Cr Mn que tiene las características de no frágil y 3 veces la dureza A3 material.

El piñón es forjado con barra de acero y luego estampado por cementación y temple para garantizar su dureza y resistencia al desgaste. Se lo hace con el uso de tecnología digital para la perforación del agujero y en torno CNC tecnología para mantener la superficie del piñón suave. La presión para las curvas es muy alta también la tolerancia es pequeña, que puede amablemente contra eje piñón appress con el motor. Se lo hace con alta frecuencia de enfriamiento la cual se hace para asegurarse de que cada uno de los dientes del piñón tenga uniformidad de dureza.

(Chain, n.d.)

### Determinación de la densidad del material

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = 25.7 \text{ gramos} = 0.0257 \text{ Kg}$$

$$V = 7.5 \text{ ml} = 7.5 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{0.0257 \text{ Kg}}{7.5 * 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\rho = 3426.6667 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

### Observación de las microestructuras sin ataque químico

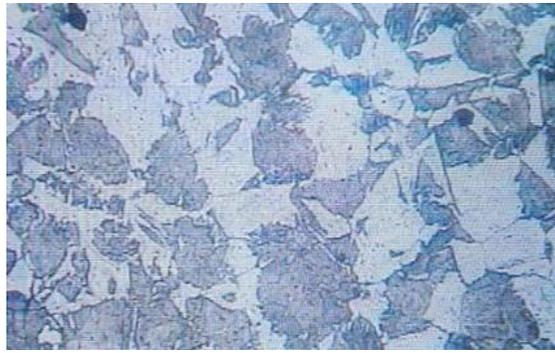


**Fig. 2.** Microestructura del piñón a 50x

### Observación de las microestructuras con ataque químico



**Fig. 3.** Microestructura del piñón a 100x

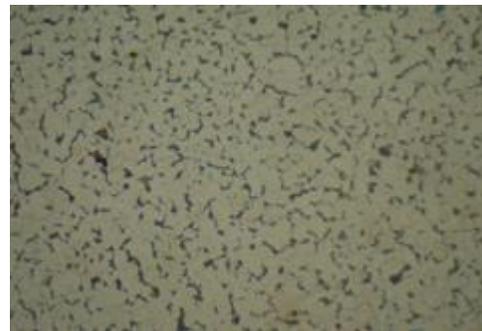
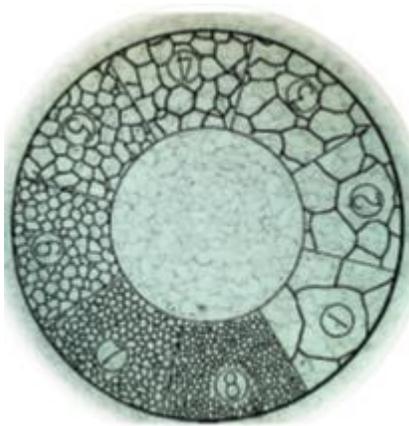


**Fig. 4.** Microestructura del piñón a 200x

### **Medición del tamaño de grano**

Para la medición del tamaño de grano lo hemos realizado de las siguientes maneras.

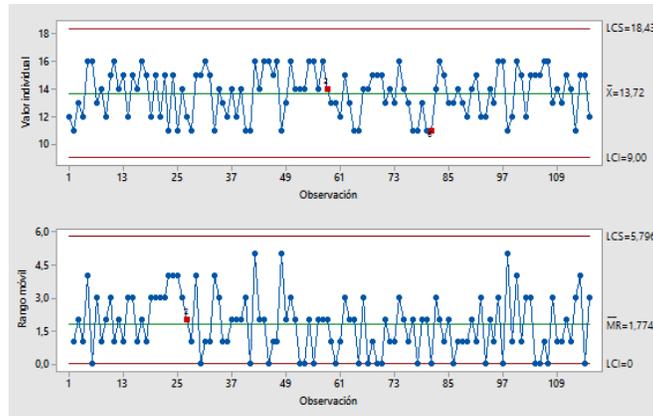
### **Método de comparación**



### **Recolección de Datos**

La utilizando el conteo de número de grano recolectando en el laboratorio comprobamos las variaciones de las mediciones utilizando el programa MiniTab. El cual nos ayuda a ver un rango promedio de las mediciones realizadas.

Consideramos según el patrón de comparación un tamaño de grano tipo 8 tomando de la Tabla 1 de los Anexos, de los datos de número de grado.

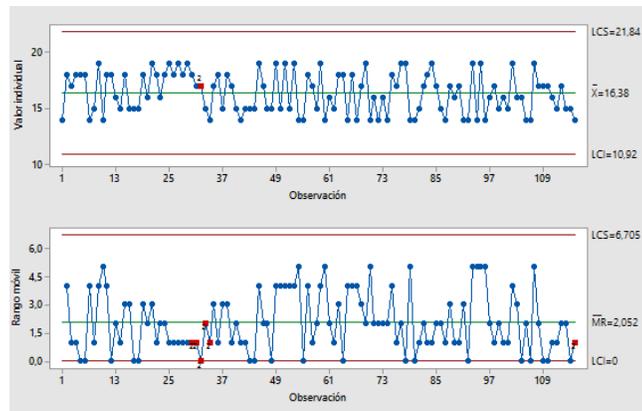


**Grafica.** Numero de Granos de Horizontales

$$E_H = \frac{\textit{longitud}}{\# \textit{promedio granos}} = \frac{637.5}{13.71} = 49.03$$

$$G_H = 10 - 6.6439 \log \frac{49.03}{10}$$

$$GV = 5.56 = 6$$



**Grafica.** Numero de Granos de Verticales

$$E_H = \frac{\textit{longitud}}{\# \textit{promedio granos}} = \frac{850}{16.37} = 52.307$$

$$G_H = 10 - 6.6439 \log \frac{52.307}{10}$$

$$GH = 7.6 = 8$$

## Medición de dureza del material

Dureza Brinell

Datos:

**P**= 10 N= 98 Kgf

**D**= 2,5 mm

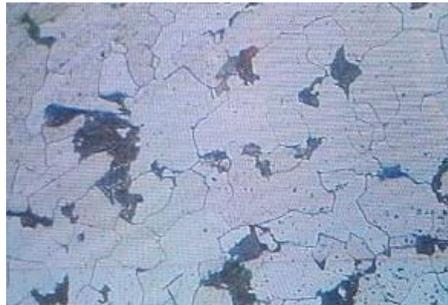
**d**= 1,49 mm

$$HB = \frac{P}{(\pi D / 2) \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$
$$HB = \frac{2(98)}{(\pi \times 2,5) \left( 2,5 - \sqrt{(2,5)^2 - (1,49)^2} \right)}$$
$$HB = 51$$

## Resultados y Discusión

Comparación y análisis de las microestructuras obtenidas.

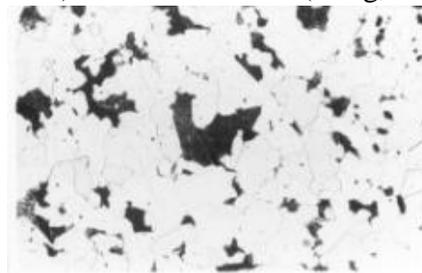
Recocido



Acero SAE 1020:

Composición: 0.20% C; 0.60- 0.90% Mn; 0.04% máx. P; 0,05% máx. S.

Ataque: Picral (composición: ácido pícrico 4grs., etil o alcohol de metileno (95% o absoluto) 100ml). Aumento: 100X (Rozg, n.d.)



La estructura recocida consiste en colonias de perlita (oscuro), en una matriz ferrítica (claro).  
(Rozg, n.d.)

### Cálculo del porcentaje de carbono (carbono equivalente para aceros aleados)

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \left( \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} \right) + \left( \frac{\%Cu + Ni}{15} \right)$$

$$CE = 0.2\%C + \frac{0.65\%Mn}{6} + \left( \frac{0.7\%Cr}{5} \right)$$

$$CE = 0.4483\%$$

### Comparación y análisis del tipo de chispa



**Fig 1.** Chispa generada del piñón



**Fig2.** Chispa generada por el esmerilado del tipo 6 (Bosco, n.d.)

Se aprecia que es del tipo 6 aproximadamente de donde

|              |       |            |                            |
|--------------|-------|------------|----------------------------|
| 6 Acero de   | 1 C   | rojizo     | estelas muy finas, chispas |
| herramientas | 1 Mn  | anaranjado | vivas, estelas acabadas en |
| aleado       | 1 Cr  |            | forma de lengua.           |
| con Cr y W   | 1.2 W |            |                            |

**Fig 3.** Características presentes en el tipo de chispa encontrada (Martínez, 2015)

### Comparación del material por su densidad

Determinación de la densidad del material recocido

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = 28.5 \text{ gramos} = 0.0285 \text{ Kg}$$

$$V = 8.5 \text{ ml} = 8.5 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{0.0285 \text{ Kg}}{8.5 * 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\rho = 3352.9412 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Por lo que podemos decir que las densidades para ambos casos son aproximadamente las mismas se puede atribuir a la variación debido a los errores cometidos al tomar los datos

### Análisis del tamaño de grano

Al realizar el estudio del tamaño de grano se puede determinar que aparentemente en el material recocido el tamaño de grano es de 6 mientras que en el material cuando no ha sido recocido es de 8 después de haber realizado la toma de este en laboratorio aparentemente se puede decir que los valores obtenidos están bien ya que con el recocido aumenta el tamaño de grano

### Análisis y comparación de las durezas determinadas

Lamentablemente no se puede realizar una comparación de las durezas debido a que se debió tomar en cuenta que el estudio de esta se la debió realizar sobre la parte que estábamos ensayando en el caso de esta probeta no se hizo así ya que en el primer estudio se lo realizo sobre la cara circular del piñón mientras que en la otra se lo hizo en la parte ensayada en donde tomamos las fotos de la microestructura por lo que sería algo erróneo emitir una comparación de dureza ya que estaríamos emitiendo un análisis erróneo de lo que a sucedido.

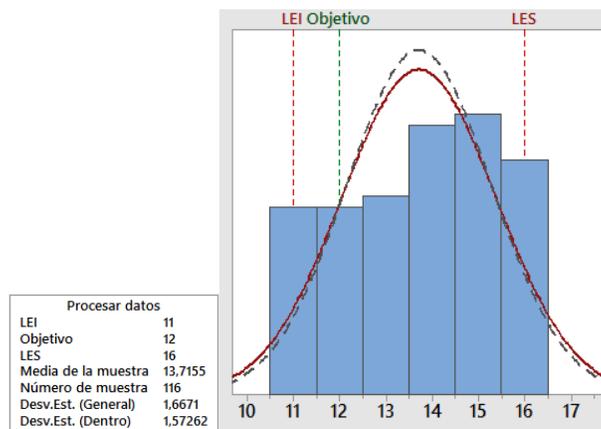
### Análisis del Six Sigma

Para el análisis de los datos de las muestras de los números de granos se ha utilizado el software de MniTab el cual se ha probado con un 95% de efectividad donde hemos podido notar las siguientes anomalías en las toda de datos.

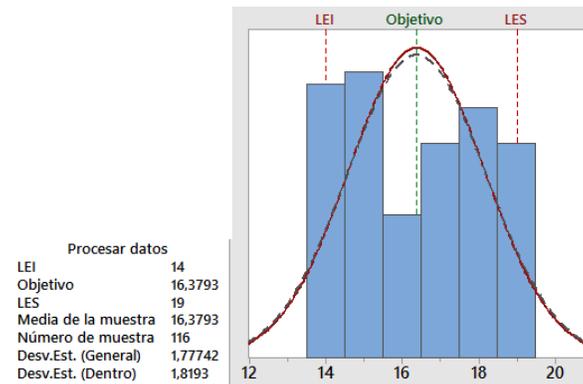
Para el numero de granos de muestra vertical los datos tomados son muy esporádicos por lo que existe una alta probabilidad de que hallamos cometido errores visuales en la recolección de datos. Se hatoma el valor promedio para hallar el tamaño de grano deseado.

En cambio para el numero de granos de muestra horizontal existe una constancia en la mayoría de datos por la cual tenemos una confianza para tomar los datos recolectados.

**Grafica.** Numero de Granos de Horizontales



## Comprobación de muestras



**Grafica.** Numero de Granos de Verticales

## Conclusiones

Por medio de la serie del piñón la cual estuvo marcada en este se nos facilitó mucho la obtención del material con el que se realiza y además se pudo obtener datos los cuales no ayudaron al momento de determinar el porcentaje de elementos aleantes existentes en el piñón de una motocicleta.

Mediante esta práctica se puede decir que el tamaño de grano cuando se aplica a un recocido disminuye en este caso lo hizo de 8 a 6 para este caso

La densidad en las probetas tanto en el recocido y tal como esta es la misma no varía con el recocido

Para realizar la práctica se debe utilizar la protección personal y manipular cuidadosamente los equipos para no sufrir ningún tipo de accidente especialmente al momento de tomar fotos para identificar la chispa

## Referencias Bibliograficas

Avner. (s.f.). Introduccion a la Metalurgia Fisica . Mexico: Mc Graw Hill Avner .

biblio3. (s.f.). Obtenido de [http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/cmI/12-Cobre\\_aleaciones.pdf](http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/cmI/12-Cobre_aleaciones.pdf)

Bosco, U. D. (s.f.). slideshare. Obtenido de slideshare: <http://es.slideshare.net/JosSoncco/guia-1-48820949>

Chain, S. (s.f.). alibaba. Obtenido de alibaba: [https://m.spanish.alibaba.com/p-detail/Professional-produce-standard-sprocket-dream-c100-1344462218.html#show\\_specifications](https://m.spanish.alibaba.com/p-detail/Professional-produce-standard-sprocket-dream-c100-1344462218.html#show_specifications)

ies villalba hervas. (s.f.). Obtenido de ies villalba hervas: <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2009/09/tratamientos-termicos.pdf>

Martínez, R. B. (28 de Abril de 2015). blogspot. Obtenido de blogspot: [http://rafaelberriosmecanica.blogspot.com/2015\\_04\\_01\\_archive.html](http://rafaelberriosmecanica.blogspot.com/2015_04_01_archive.html)

METALS HANDBOOK. (s.f.).

Muñoz, J. C. (2007). DIALNET. Obtenido de DIALNET: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=6632>

UNAM. (s.f.). Obtenido de UNAM: <https://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/fases%20de%20acero.htm>

upv. (s.f.). MATERIALES . Obtenido de MATERIALES : [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/ptrb2\\_2\\_6.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/ptrb2_2_6.html)

## Anexos

**Tabla 1.** Datos de número de grano vertical y horizontal tomadas en el laboratorio

**Método de intersección Vertical**

**Método de intersección Horizontal**

| NUMERO DE PRUEBAS | NUMERO DE GRANO | NUMERO DE PRUEBA | NUMEROS DE GRANO |
|-------------------|-----------------|------------------|------------------|
|                   |                 |                  |                  |
| 1                 | 14              | 1                | 12               |
| 2                 | 18              | 2                | 11               |
| 3                 | 17              | 3                | 13               |
| 4                 | 18              | 4                | 12               |
| 5                 | 18              | 5                | 16               |
| 6                 | 18              | 6                | 16               |
| 7                 | 14              | 7                | 13               |
| 8                 | 15              | 8                | 14               |
| 9                 | 19              | 9                | 12               |
| 10                | 14              | 10               | 15               |
| 11                | 18              | 11               | 16               |
| 12                | 18              | 12               | 14               |

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| 13 | 16 | 13 | 15 |
| 14 | 15 | 14 | 12 |
| 15 | 18 | 15 | 15 |
| 16 | 15 | 16 | 14 |
| 17 | 15 | 17 | 16 |
| 18 | 15 | 18 | 15 |
| 19 | 18 | 19 | 12 |
| 20 | 16 | 20 | 15 |
| 21 | 19 | 21 | 12 |
| 22 | 18 | 22 | 15 |
| 23 | 16 | 23 | 11 |
| 24 | 18 | 24 | 15 |
| 25 | 19 | 25 | 11 |
| 26 | 18 | 26 | 14 |
| 27 | 19 | 27 | 12 |
| 28 | 18 | 28 | 11 |
| 29 | 19 | 29 | 15 |
| 30 | 18 | 30 | 15 |
| 31 | 17 | 31 | 16 |
| 32 | 17 | 32 | 15 |
| 33 | 15 | 33 | 11 |
| 34 | 14 | 34 | 14 |
| 35 | 17 | 35 | 13 |
| 36 | 18 | 36 | 12 |
| 37 | 15 | 37 | 14 |
| 38 | 18 | 38 | 12 |
| 39 | 17 | 39 | 14 |

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| 40 | 15 | 40 | 11 |
| 41 | 14 | 41 | 11 |
| 42 | 15 | 42 | 16 |
| 43 | 15 | 43 | 14 |
| 44 | 15 | 44 | 16 |
| 45 | 19 | 45 | 16 |
| 46 | 17 | 46 | 15 |
| 47 | 15 | 47 | 16 |
| 48 | 15 | 48 | 11 |
| 49 | 19 | 49 | 13 |
| 50 | 15 | 50 | 16 |
| 51 | 19 | 51 | 14 |
| 52 | 15 | 52 | 14 |
| 53 | 19 | 53 | 14 |
| 54 | 14 | 54 | 16 |
| 55 | 14 | 55 | 16 |
| 56 | 18 | 56 | 14 |
| 57 | 17 | 57 | 16 |
| 58 | 15 | 58 | 14 |
| 59 | 19 | 59 | 13 |
| 60 | 14 | 60 | 13 |
| 61 | 16 | 61 | 12 |
| 62 | 15 | 62 | 15 |
| 63 | 18 | 63 | 13 |
| 64 | 18 | 64 | 11 |
| 65 | 14 | 65 | 11 |
| 66 | 18 | 66 | 14 |

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| 67 | 14 | 67 | 14 |
| 68 | 17 | 68 | 15 |
| 69 | 19 | 69 | 15 |
| 70 | 14 | 70 | 15 |
| 71 | 16 | 71 | 13 |
| 72 | 14 | 72 | 14 |
| 73 | 16 | 73 | 13 |
| 74 | 14 | 74 | 16 |
| 75 | 18 | 75 | 14 |
| 76 | 17 | 76 | 13 |
| 77 | 19 | 77 | 11 |
| 78 | 19 | 78 | 11 |
| 79 | 14 | 79 | 13 |
| 80 | 14 | 80 | 11 |
| 81 | 15 | 81 | 11 |
| 82 | 17 | 82 | 14 |
| 83 | 18 | 83 | 16 |
| 84 | 19 | 84 | 15 |
| 85 | 17 | 85 | 13 |
| 86 | 15 | 86 | 13 |
| 87 | 14 | 87 | 14 |
| 88 | 17 | 88 | 13 |
| 89 | 16 | 89 | 12 |
| 90 | 17 | 90 | 14 |
| 91 | 14 | 91 | 15 |
| 92 | 14 | 92 | 12 |
| 93 | 19 | 93 | 12 |

|          |             |          |    |
|----------|-------------|----------|----|
| 94       | 14          | 94       | 14 |
| 95       | 19          | 95       | 13 |
| 96       | 14          | 96       | 16 |
| 97       | 16          | 97       | 16 |
| 98       | 17          | 98       | 11 |
| 99       | 15          | 99       | 12 |
| 100      | 16          | 100      | 16 |
| 101      | 15          | 101      | 15 |
| 102      | 19          | 102      | 12 |
| 103      | 16          | 103      | 15 |
| 104      | 16          | 104      | 15 |
| 105      | 14          | 105      | 15 |
| 106      | 14          | 106      | 16 |
| 107      | 19          | 107      | 16 |
| 108      | 17          | 108      | 13 |
| 109      | 17          | 109      | 14 |
| 110      | 17          | 110      | 13 |
| 111      | 16          | 111      | 15 |
| 112      | 15          | 112      | 14 |
| 113      | 17          | 113      | 11 |
| 114      | 15          | 114      | 15 |
| 115      | 15          | 115      | 15 |
| 116      | 14          | 116      | 12 |
| PROMEDIO | 16,37931034 | PROMEDIO | 12 |