

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y
METALÚRGICA



CONTROL DE LAS MERMAS DE LA PRODUCCIÓN DE BOLAS DE ZINC
Y VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO DE MEDICIÓN DE
ESPESORES POR ULTRASONIDO
INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
METALURGISTA

LUIS EDWARD QUINO ORDÓÑEZ

LIMA-PERU

2009

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Manuel Quino Quiroz y Dora Ordóñez Alcalá por todo el apoyo que me brindaron en todo momento de mi vida y a mi tía Susana Ordóñez Alcalá por el apoyo que me brindo en mis estudios universitarios.

SUMARIO

Actualmente los procesos industriales han sido estudiadas y comprendidas aplicando la estadística, el principal objetivo de estos estudios es la reducción de los costos que generan estos procesos.

El presente trabajo desarrolla dos tipos de aplicaciones de la estadística en los procesos industriales, que nos explican el manejo de los procesos industriales en la actualidad.

El primer tipo consta en el control de los productos rechazados necesarios o mermas de un proceso de producción de bolas de zinc. Se encuentran los límites de control de las mermas de los subprocesos, para que posteriormente se pueda reducir estos límites y en consecuencia se reducen las mermas. La reducción de los límites de control no se muestra en este trabajo, pero se detalla en forma general los pasos para desarrollarla.

El segundo consta sobre la validación del método de ensayo de medición de espesores por ultrasonidos, utilizando dos patrones con diferentes espesores. Esta validación consta de cálculos de parámetros que caracteriza al método de ensayo y evalúa la performance del método en diferentes condiciones de prueba.

INDICE

Introducción	1
Capítulo I	
Antecedentes de la Aplicación de la Estadística en los Procesos Industriales	
1.1 Histórico de la Estadística en el Control de Calidad	3
1.2 Actualidad de la estadística en los procesos industriales	5
Capítulo II	
Fundamento Teórico	
2.1 Descripción básica de la estadística	6
2.2 Gráfica de control	7
2.3 Límites de control	8
2.4 Valores atípicos	9
2.5 Gráfica de probabilidades	10
2.6 Diagrama de caja	11
2.7 Control Estadístico de Proceso	12
2.8 Variables asignables y fortuitas	13
2.9 Mala Calidad	15
2.10 Medición de espesores por ultrasonido	16
2.11 Validación de los métodos de ensayo	17
2.12 Exactitud	18
2.13 Precisión	18
2.14 Repetibilidad	19
2.15 Reproducibilidad	19

2.16 Método básico para la determinación de la repetibilidad y reproducibilidad de un método de medición	19
2.17 Escrutinio de resultados para determinar consistencia y valores atípicos	20
2.18 Prueba de Cochran	20
2.19 Cálculo de la reproducibilidad y repetibilidad	21
2.20 Veracidad	22
2.21 Intervalo de trabajo	23
2.22 Incertidumbre	23
2.23 Ciclo PHVA	27

Capítulo III

Desarrollo del Trabajo

3.1 Control de merma del proceso de producción de bolas de zinc	30
3.1.1 Descripción del proceso	30
3.1.2 Cálculo de los resultados	32
3.2 Validación del ensayo de medición de espesores por ultrasonido	37
3.2.1 Cálculo del Intervalo de trabajo	37
3.2.2 Cálculo de la Precisión	38
3.2.3 Cálculo de la Veracidad	42
3.2.4 Cálculo de la Incertidumbre	42

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES	48
-------------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	53
---------------------	----

ANEXOS

Anexo A DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PRODUCTIVO DE BOLAS DE ZINC	
---	--

Anexo B DATOS DE LOS SUBPROCESO DE LA PRODUCCIÓN DE BOLAS DE ZINC

ANEXO C: GRÁFICO DE CONTROL DE PESO DE LOS SUBPROCESOS

ANEXO D: CRONOGRAMA Y RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

ANEXO E VALORES CRÍTICOS DE COCHRAN C

ANEXO F: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO DE MEDICIÓN DE ESPESORES
STRESSTEL

ANEXO G: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO STRESSTEL T-MAKE-E

ANEXO H: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL PATRO P1

ANEXO I: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL PATRON P3

ANEXO J: CÁLCULO DE LA VARIANZA DE LA REPRODUCIBILIDAD Y REPETIBILIDAD

ANEXO K: CÁLCULO DE LOS VALORES DE COCHRAN

ANEXO L: CÁLCULO DE LA VERACIDAD DEL MÉTODO

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata de demostrar el comportamiento de dos procesos metalúrgico utilizando la estadística, explica la metodología para medir el grado de control de un proceso. Esta metodología se puede utilizar para cualquier proceso en general, en este caso se utilizo al control de peso de la merma del proceso de fabricación de bolas de zinc y a la medición de de espesores por ultrasonido en acero.

La aplicación de la estadística de este trabajo es fundamental ya que los datos tantos de peso de las mermas y longitud de los espesores son aleatorios. Lo importantes del trabajo es predecir los resultados de los procesos y saber cuando el proceso debe ser ajustado para llevar a un control estadístico.

El software utilizado para el control de los pesos de las mermas es MINITAB y para la validación del método de ensayo se utilizó EXCEL. El primero es un programa estadístico ampliamente utilizado para estos tipos de trabajo.

Este trabajo fue realizado con el apoyo de la empresa en donde trabajo ENDECOT SAC, agradezco al Ing. Ulises Huamán Ladera por el apoyo que me brindó al realizar este trabajo.

CAPITULO I

ANTECEDENTES DE LA APLICACIÓN DE LA ESTADÍSTICA EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES

1.1 Resumen Histórico de la Estadística en el Control de Calidad.

Se detalla el desarrollo de la estadística en la industria, para conocer las etapas de la estadística y tener una idea cual podría ser la tendencia en el futuro:

- a. La aplicación de la estadística en el control de calidad se inicia aproximadamente en 1908 con la aplicación de la distribución t por el estadístico W.S. Gosset en el control de calidad de una empresa Cervecera.
- b. En 1920 B.P. Dudding emplea métodos estadísticos en General Electric para controlar la calidad de las bobinas eléctricas.

- c. En 1922 R.A. Fisher publica una serie de escritos fundamentales sobre experimentos diseñados y aplicación en las ciencias agrícola.
- d. En 1924 W. A. Shewhart introduce el concepto de carta de control en un memorándum técnico de los laboratorios Bell y realiza varias conferencias sobre control de calidad.
- e. En 1940 El Departamento de Guerra de Estados Unidos publica una guía para usar cartas de control en el análisis de datos de procesos.
- f. En 1941 Los laboratorios Bell desarrollan los precursores de los planes de muestreo “military standards” para el ejército estadounidense.
- g. En 1946 Japón inicia su desarrollo industrial basado en la calidad con ayuda de Edward Deming, Joseph Jura y K. Ishikawa.
- h. En año 1950 se publica los textos clásicos de control estadístico de calidad de Eugene Grant y J. Duncan.
- i. A principios de los años 50s Joseph Juran descubrió evidencia para la regla 80-20 en una gran variedad de situaciones, basándose en el estudio que realizó el economista Wilfredo Pareto.
- j. En 1951 G.E.P.Box y K.B.Wilson publica obras fundamentales sobre el uso de los experimentos diseñados y la metodología de superficies de respuestas para la optimización de procesos.
- k. En 1960 G.E.P.Box y J. S. Hunter escribe trabajos fundamentales sobre los diseños factoriales $2K-p$

- l. En 1982 la industria Americana enfocó su trabajo en la calidad debido a la predominancia de los productos Japoneses en el mercado.
- m. En 1989 Nace la iniciativa de Six Sigma de Motorola.
- n. En los años 90s se incrementa las actividades del La organización internacional de estandarización ISO (ISO 9000).
- o. En 1997 el enfoque de Six Sigma se extiende a otras industrias.

1.2 Actualidad de la Estadística en los Procesos Industriales.

En la actualidad la estadística está íntimamente relacionada con la calidad, los métodos utilizados actualmente en el control de calidad son métodos como los desarrollados por el Organismo Internacional de Estandarización (ISO 9000), la metodología Six Sigma y la Calidad Total. Estos métodos están basados en la estadística, administración, estrategia y planificación. Tienen como objetivo de satisfacer a los clientes y reducir costos de producción para obtener ventajas competitivas en el mercado.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Descripción Básica de la Estadística

La estadística tradicionalmente se utiliza para estudiar las características de una población, predecir resultados específicos de sucesos. Para el presente trabajo se utiliza estos mismos conceptos aplicados en procesos industriales.

Una población está formada por la totalidad de las observaciones en las cuales se tiene cierto interés. Una muestra es un subconjunto de observaciones seleccionadas de una población y debe ser representativa y aleatoria.

Una variable aleatoria se caracteriza o describe mediante su distribución de probabilidad. Tal descripción es descrita, a su vez, por sus parámetros, como ejemplos, la media μ y la varianza σ^2 de la distribución normal.

Tabla 1: Símbolos de los parámetros de la población y muestra

Parámetro	Población	Estimador Puntual (muestra)
Media	μ	\bar{x}
Varianza	σ^2	s^2
Proporción	ρ	P
Diferencia de promedios	$\mu_1 - \mu_2$	$\bar{x}_1 - \bar{x}_2$
Relación de varianza	σ_1^2 / σ_2^2	s_1^2 / s_2^2
Diferencia de proporciones	$\rho_1 - \rho_2$	$p_1 - p_2$

La estimación del valor del parámetro por medio de un único valor obtenido mediante el cálculo o evaluaciones de un estimador para una muestra específica se llama estimación puntual.

En la tabla 1 se presenta estimadores puntuales de la media, de la proporción, de la varianza, de diferencia de promedios y de la diferencia de proporciones.

2.2 Gráficos de Control

El objetivo de una carta de control es observar y analizar con datos estadísticos la variabilidad y el comportamiento de un proceso a través del tiempo. Esto permite distinguir entre variaciones por causas comunes y especiales, lo que ayuda a caracterizar el funcionamiento del proceso y así

decidir las mejores acciones de control y mejora. Cuando se habla de variabilidad nos referimos principalmente, las variables de salida, pero las cartas también pueden aplicarse a analizar la variabilidad de alguna variable de entrada.

En la figura 3 se muestra una típica carta de control en la que se aprecia el rango de variabilidad y como varia el estadístico W (peso, longitud, etc) a través del tiempo. Los valores que va tomando W se representa por un punto y esto se une por un línea recta. La línea central representa el promedio de W , también puede ser una media, un rango, un porcentaje, etc.

Los límites de control, inferior (LCL) y superior (UCL), define el inicio y final del rango de variación de W de forma que cuando el proceso está en control estadístico, haya una alta probabilidad de que prácticamente todos los valores de W caigan dentro de los límites. Por ello, si se observa un punto fuera de los límites de control, será señal de que ha ocurrido algo fuera de lo usual en el proceso. Por lo contrario, si todos los están dentro de los límites de control será señal de que en el proceso no ha ocurrido ningún cambio fuera de lo común, y funciona de manera estable (que está en control estadístico). Así la carta se convierte en una herramienta para detectar cambios en los procesos.

2.3 Límites de Control

Los límites de control se calculan a partir de la variación del estadístico (datos) que se presenta en la carta de control. De esta forma, la clave está

en establecer los límites para cubrir cierto porcentaje de variación natural del proceso, pero se debe tener cuidado que tal proceso sea adecuado, ya que es demasiado alto (99.99999%) los límites serán muy amplios y será más difícil detectar los cambios en el proceso. Una forma sencilla y usual se obtiene a partir de la relación entre la media carta de control de Shewhart para mediciones individuales.

En muchas situaciones, el tamaño de la muestra usado para monitorear el proceso es $n=1$ (una repetición); es decir la muestra consta de una unidad individual. En muchas aplicaciones de la carta de control para unidades individuales se usa un rango móvil de dos observaciones sucesivas como base para estimar la variabilidad del proceso. El rango móvil (MR, por las siglas en inglés) se define como.

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}| \dots\dots\dots (1)$$

Donde x_i y x_{i-1} son dos datos continuos de las muestra.

Los límites de la carta de control de las mediciones individuales son:

$$UCL = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Línea central} = \bar{x} \dots\dots\dots (3)$$

$$LCL = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \dots\dots\dots (4)$$

Si se usa rango móvil de $n = 2$ observaciones, entonces $d_2 = 1,128$.

2.4 Valores Atípicos

Los valores atípicos son numéricamente distantes al resto de los datos. Su detección es importante porque pueden influenciar fuertemente los resultados de un análisis estadístico. Una vez detectada los valores atípicos se deben averiguar las causas que las originaron para poder decidir si se elimina o no los datos atípicos. Existen varios métodos para calcular valores atípicos, el método que vamos a utilizar es los diagramas de caja.

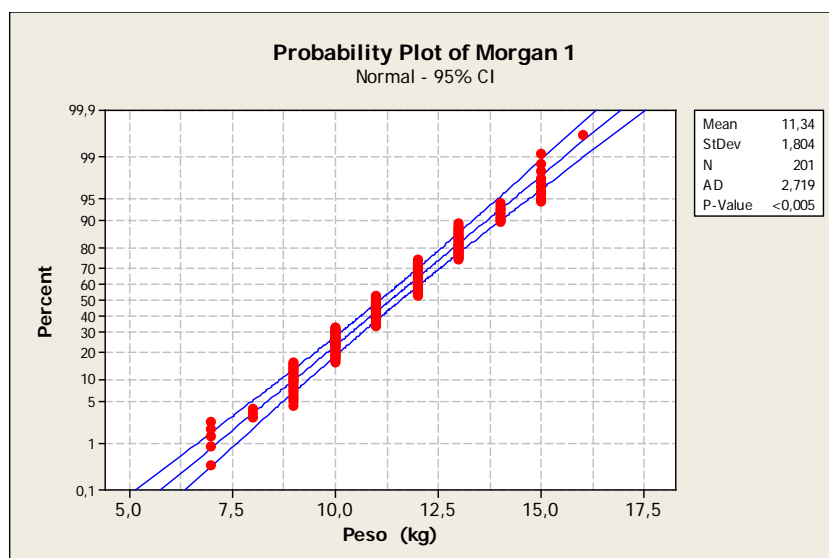
2.5 Grafica de Probabilidades

Cuando se tiene los datos de la muestra se tiene que verificar la distribución de probabilidad para describir la población, uno de los métodos frecuentemente usado es la gráfica de probabilidad.

Otra ayuda que nos puede dar la gráfica es estimar los percentiles de la distribución, la media y la desviación estándar.

En el eje horizontal va los datos de la muestra y en el eje vertical está los porcentaje de frecuencia, en la gráfica hay que considerar los puntos que se encuentran entre el 25 y 75 percentil deben estar entre los límites del área que se representa en la gráfica. En el gráfico 1 se presenta el gráfico de probabilidad.

Gráfica 1: Gráfica de Probabilidad



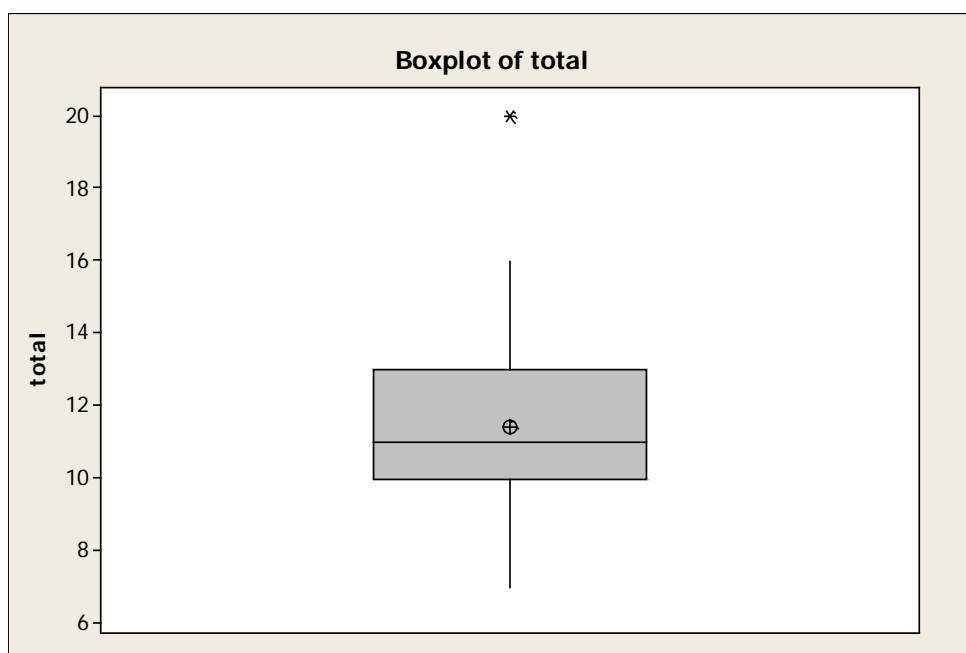
2.6 Diagrama de Caja

El diagrama de caja es una representación gráfica que muestra simultáneamente varias características importantes de los datos, tales como la localización o la tendencia central, dispersión o variabilidad, el apartamiento de la simetría, y la identificación de observaciones que se localizan inusualmente lejos del grueso de los datos (datos atípicos).

Un diagrama de caja muestra los tres cuartiles, el mínimo y el máximo de los datos en una caja rectangular, alineada sea horizontal o verticalmente. La caja abarca el rango intercuartílico con el lado inferior en el primer cuartil Q_1 y el lado superior en el tercer cuartil Q_3 . Se traza una línea por la caja en el segundo cuartil (que es el quincuagésimo percentil o la mediana) Q_2 . Se extiende una línea en los lados superior e inferior hasta los valores extremos, estas líneas suelen llamarse bigotes. En general los bigotes sólo se extienden, a lo sumo, una distancia de $1.5(Q_3 - Q_1)$ de los extremos de la

caja y las observaciones que se localizan después de estos límites se marcan como puntos atípicos potenciales.

Gráfica 2: Ejemplo de un Diagrama de Caja



2.7 Control Estadístico de Proceso

Es un conjunto de herramientas para resolver problemas, muy útil para conseguir la estabilidad y mejora de la capacidad del mismo proceso mediante la reducción de la variabilidad.

En cualquier proceso de producción siempre existirá cierta variabilidad inherente o natural. Esta variabilidad natural es el efecto acumulado de muchas causas pequeñas y en esencia inevitable. En el contexto del control estadístico de calidad, a esta variabilidad natural se le denomina un "sistema estable de causas fortuita".

En ocasiones puede estar presente otra clase de variabilidad en la salida de un proceso, las cuales se les llama variabilidad asignables. Esta variabilidad en las características clave de la calidad se origina de tres fuentes; máquinas ajustadas o controladas incorrectamente, errores del operador y materia prima defectuosa.

2.8 Variables Asignables y Fortuitas

Todo proceso de fabricación funciona bajo ciertas condiciones o variables que son establecidas por las personas que lo manejan para lograr una producción satisfactoria. Cada uno de estos factores está sujeto a variaciones que realizan aportes más o menos significativos a la fluctuación de las características del producto durante el proceso de fabricación.

Los responsables del funcionamiento del proceso de fabricación fijan los valores de algunas de estas variables, que se denominan variables asignables, por ejemplo la temperatura del zinc líquido al vaciar a los moldes. Por otro lado existe una gran cantidad de variables que sería imposible o muy difícil controlar, estas se denominan variables fortuitas. Por ejemplo las diferencias de pesos de las pacas de zinc.

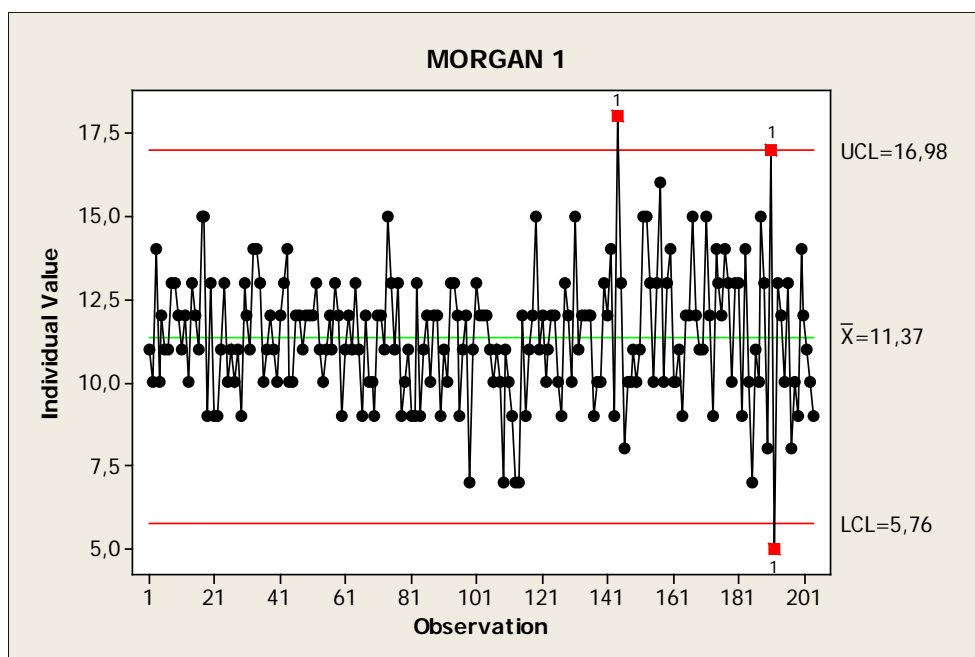
Cuando el proceso trabaja es afectado solamente por un sistema constante de variables fortuitas (aleatorios) se dice que está funcionando bajo control estadístico. Cuando, además de las variables fortuitas, aparece una o varias variables asignables, se dice que el proceso está fuera de control estadístico.

El uso del control estadístico de procesos lleva implícitas algunas hipótesis que describiremos a continuación:

- a) Una vez que el proceso está en funcionamiento bajo condiciones establecidas, se supone que la variabilidad de los resultados en la medición de una característica de calidad del producto se debe sólo a un sistema de variables aleatorias, que es inherente a cada proceso en particular.
- b) El sistema de variables aleatorias que actúan sobre el proceso genera un universo hipotético de observaciones (mediciones) que tiene una Distribución Normal.
- c) Cuando aparece alguna causa asignable provocando desviaciones adicionales en los resultados del proceso, se dice que el proceso está fuera de control.

La función del control estadístico de procesos es comprobar en forma permanente si los resultados que van surgiendo de las mediciones están de acuerdo con las dos primeras hipótesis. Si aparecen uno o varios resultados que contradicen o se oponen a las mismas, es necesario revisar el proceso y encontrar las causas por las cuales el proceso se apartó de su funcionamiento habitual y corregirlas. En la gráfica 3 se observa tres datos fuera de control estadístico.

Gráfica 3: Ejemplo de una Carta de Control



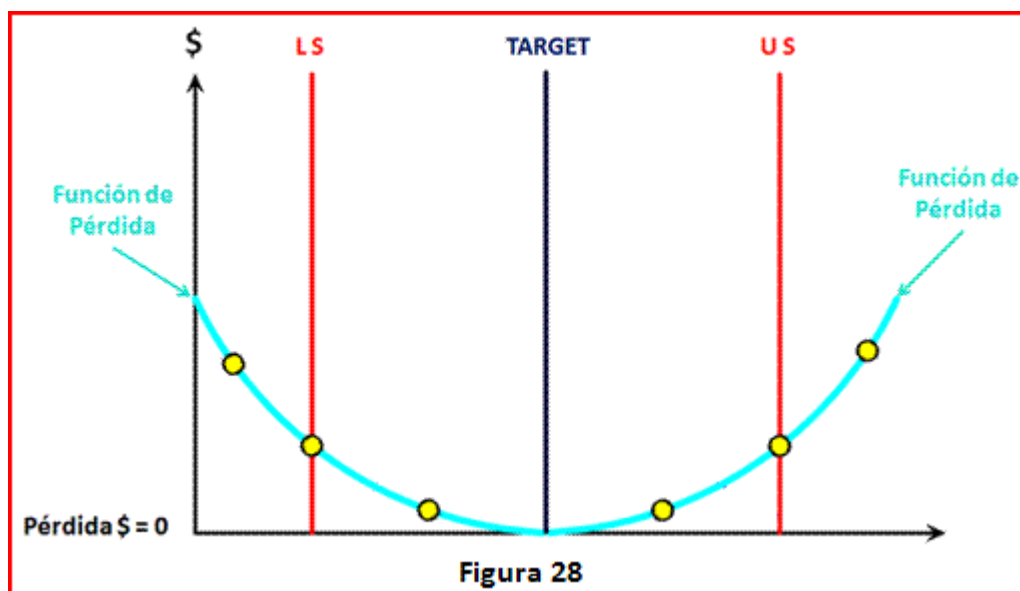
2.9 Mala Calidad

Las actividades que existen relacionadas a la mala calidad tienen un costo que perjudica a toda organización, estos costos tienen un impacto importante porque oscilan entre el 20 al 40 % de las ventas. Algunas actividades relacionadas a la mala calidad son los desechos (merma), reprocesos, sobre stock, rotura de máquinas y equipamiento, poca preparación profesional, etc.

La pérdida de la calidad del producto es causada por la variabilidad de los factores intrínseca del proceso. Taguchi nos describe como la variabilidad afecta a la calidad con su función pérdida, en la ilustración 1 muestra la función pérdida de Taguchi, describe que a una mayor variabilidad de una característica del producto con respecto al valor nominal, aumenta el costo

del producto, por esta razón se tiene que reducir la variabilidad de los factores que influye en el proceso de producción.

Ilustración 1: Función Pérdida de Taguchi



2.10 Medición de Espesores por Ultrasonido

Las tecnologías de ensayos no destructivos (END) se usan para medir el espesor de los materiales en una amplia gama de industrias, tanto para controlar la calidad de fabricación como para realizar el monitoreo durante el servicio. En muchas aplicaciones, la primera ventaja que brindan los ensayos no destructivos es la posibilidad de medir con precisión el espesor de paredes en situaciones en las que sólo un lado de la pieza a examinar es accesible, como en los tubos o tanques, o también donde las simples mediciones mecánicas son imposibles o difíciles de realizar debido a diferentes razones, como las dimensiones de la pieza o la dificultad de acceso. Las mediciones de espesor por ultrasonido se pueden emplear en

prácticamente todos los materiales industriales, incluyendo en la mayoría de los metales, plásticos, vidrio, cerámica, caucho, fibra de vidrio y materiales compuestos. También permiten medir el espesor de los recubrimientos no conductores, como la pintura aplicada sobre sustratos conductores.

En el proceso de la medición de espesores influye el patrón para la calibración del equipo, el material a ensayar, el operador, el equipo como principal fuente de variabilidad.

2.11 Validación de los Métodos de Ensayo

La validación es un requerimiento importante en la implementación de métodos de ensayo, pues define los parámetros de control base en los cuales dicho método debe ser aplicado.

La validación es un proceso continuo, pues cualquier modificación del proceso tales como, condiciones ambientales diferentes, un componente del equipo diferente y un ensayista diferente pueden variar al método.

La validación consiste en establecer mediante estudios de laboratorio las características de desempeño o parámetro de validación (exactitud, incertidumbre etc.).

Los parámetros de desempeño que se tiene que hallar van a depender de las características de cada método de ensayo, a continuación mostramos las características de nuestro método de ensayo:

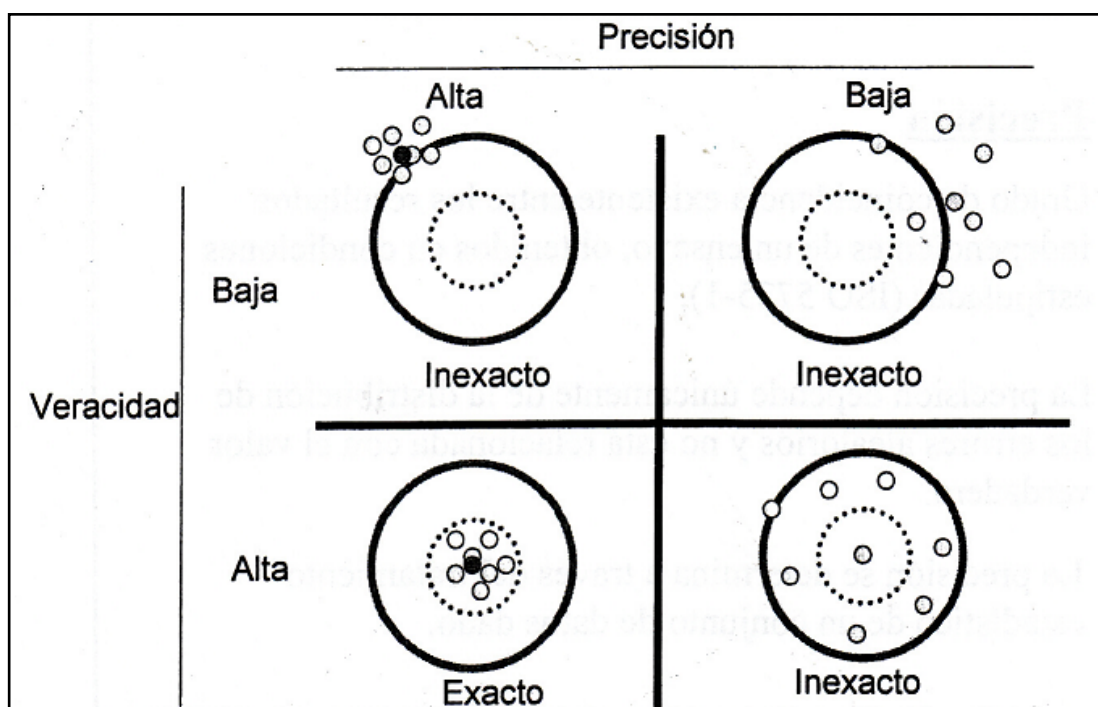
- Precisión
- Veracidad

- Intervalo de trabajo
- Incertidumbre

2.12 Exactitud

La exactitud viene a ser los principales indicadores de la calidad de resultados y por ende de la validación de un método. En la ilustración 2 se muestra la relación que existe entre la exactitud con la veracidad y precisión.

Ilustración 2: Relación de la Exactitud con la Veracidad y Precisión



2.13 Precisión

Grado de coincidencia existente entre los resultados independiente de un ensayo, obtenidos en condiciones estipuladas (ISO 5725-1).

La precisión depende únicamente de la distribución de errores aleatorios y no está relacionada con el valor verdadero. La repetibilidad y la reproducibilidad son componentes de la precisión.

2.14 Repetibilidad.

Es la variación de las mediciones sucesivas al mismo objeto con un instrumento bajo las mismas condiciones (un operador), durante un corto intervalo de tiempo (minutos, horas).

2.15 Reproducibilidad.

Es la variación de las mediciones del mismo objeto con un instrumento bajo condiciones cambiantes (diferentes operadores), durante un intervalo de tiempo moderado (días, semanas).

2.16 Método básico para la determinación de la repetibilidad y Reproducibilidad de un método de medición.

El cálculo de la precisión de un método de medición consiste en el cálculo de la reproducibilidad y repetibilidad, para ello se utiliza un diseño de experimento normalizado.

En el diseño utilizado, las muestras que se toman de q lotes de materiales, que representan q diferentes niveles de ensayo, son ensayadas por p ensayistas del laboratorio que obtienen cada uno exactamente n replicas de resultados de ensayo bajo condiciones de repetibilidad en cada uno de los q niveles.

La tabla 2 muestra el formato para la recolección de los datos donde n_{ij} es el número de resultados de ensayo en la celda para el operador i en cada nivel j ; y_{ijk} es el número de resultados de ensayo ($k= 1, 2, \dots, n_{ij}$); p_i es el número de ensayistas que informa por lo menos un resultado de ensayo para el nivel j (después de eliminar alguno de los resultados de ensayo designado como valores atípicos o como erróneo).

Tabla 2: Formato para la Recolección de Datos

<i>Analista</i>	<i>Niveles</i>							
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>j</i>	<i>q</i>
<i>1</i>								
<i>2</i>								
..				..				
<i>i</i>				y_{ijk}				
..				..				
..								
<i>p</i>								

2.17 Escrutinio de resultados para determinar consistencia y valores atípicos

En la norma peruana NTP ISO/IEC 5725-2 se detalla varias técnica para la consistencia de los datos y determinar valores atípicos, para este trabajo sólo se toma el método de Cochran.

2.18 Prueba de Cochran

Esta prueba consiste en comparar las desviaciones estándar máxima de los operadores en un nivel de medición con unos valores establecidos estadísticamente.

Para el cálculo de la estadística de la prueba de Cochran C, se realiza de la siguiente forma:

$$C = \frac{s_{max}^2}{\sum_{i=1}^p s_i^2} \dots\dots\dots (5)$$

Donde s_{max} es la desviación estándar máxima en el grupo.

- Si la estadística de la prueba es menor o igual a su valor crítico de 5%, el ítem probado es aceptado como correcto.
- Si la estadística de la prueba es a mayor que su valor crítico de 5% y menor o igual a un valor crítico de 1%, el ítem probado se le llama rezagado.
- Si la estadística de prueba es mayor que su valor crítico de 1%, el ítem probado se le llama valor estadístico atípico.

En el anexo A, se proporciona valores críticos para la prueba de Cochran.

2.19 Cálculo de la Reproducibilidad y Repetibilidad

Una vez eliminado los valores atípicos se calcula las varianzas de la repetibilidad s_r^2 , del laboratorio s_L^2 y de la reproducibilidad s_R^2 .

Las formulas para el cálculo de las varianzas se presenta a continuación:

$$s_r^2 = \frac{T_5}{T_3 - p} \dots\dots\dots (6)$$

$$s_L^2 = \left[\frac{T_2 T_3 - T_1^2}{T_3(p-1)} - s_r^2 \right] \left[\frac{T_3(p-1)}{T_3^2 - T_4} \right] \dots\dots\dots (7)$$

$$s_R^2 = s_L^2 + s_r^2 \dots\dots\dots (8)$$

Donde:

$$T_1 = \sum n_i \bar{y}_i \dots\dots\dots (9)$$

$$T_2 = \sum n_i \bar{y}_i^2 \dots\dots\dots (10)$$

$$T_3 = \sum n_i \dots\dots\dots (11)$$

$$T_4 = \sum n_i^2 \dots\dots\dots (12)$$

$$T_5 = \sum (n_i - 1) s_i^2 \dots\dots\dots (13)$$

2.20 Veracidad

Grado de concordancia existente entre el valor medido obtenido de una gran serie de resultado y un valor aceptado como referencia.

Para determinar la veracidad se utiliza un material de referencia certificada. Los datos obtenidos deben ser homogéneos estadísticamente, para esto se realiza la prueba de t de Student entre los datos y el valor de referencias.

Luego de corroborar que los datos son estadísticamente homogéneos con el material de referencia, Se determina la magnitud del sesgo de la medición $\hat{\delta}$ cuya ecuación es:

$$\hat{\delta} = \bar{y} - \mu \dots\dots\dots (14)$$

Donde \bar{y} es el promedio general de los datos y μ es el valor de material de referencia.

Para estimar un intervalo de confianza, aproximado de 95% para el sesgo del método de medición de la siguiente manera:

$$\hat{\delta} - AS_R \leq \delta \leq \hat{\delta} + AS_R \dots\dots\dots (15)$$

Donde A esta en función de p y n y se determina por:

$$A = 1,96 \sqrt{\frac{n(\gamma^2-1)+1}{\gamma^2pn}} \dots\dots\dots (16)$$

Donde

$$\gamma = \frac{S_R}{S_r} \dots\dots\dots (17)$$

Si este intervalo de confianza contiene el valor cero, el sesgo del método de medición no es significativo con un nivel de significancia $\alpha=5\%$; de lo contrario es significativo.

2.21 Intervalo de Trabajo.

Conjunto de valores para los cuales el error de un instrumento de medición esta supuestamente comprendido dentro de ciertos límites.

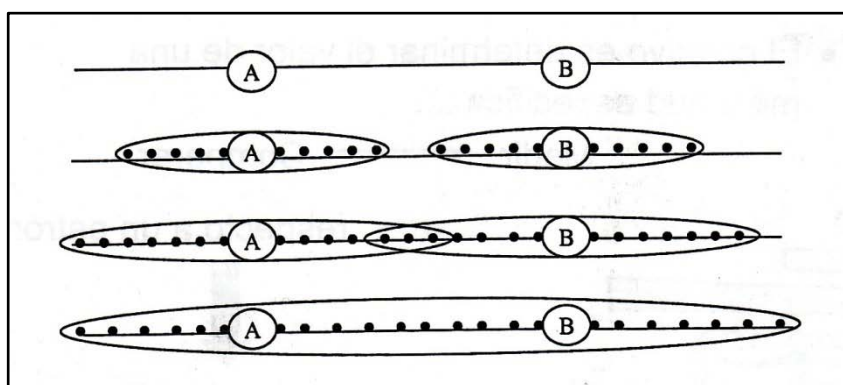
2.22 Incertidumbre

Todos los procesos de medición varían debido a las variables aleatorias y asignables. Como se explico en el punto 2.8 las variables aleatorias es inherentes del método, por lo tanto no es posible eliminarla totalmente. A partir de estas variables se calcula la incertidumbre del método de ensayo.

La incertidumbre de la medición significa duda en la estimación de una medida o en la expresión de un resultado, es sinónimo de variabilidad de las medidas o resultados.

La incertidumbre es una forma de expresar el hecho que para una medida y su resultado de medición no existe un solo valor sino un grupo de valores alrededor de resultado. En la ilustración 3 nos muestra una representación de la incertidumbre de dos mediciones y la del conjunto.

Ilustración 3: Incertidumbre de la medición



Para el cálculo de la incertidumbre se necesitó utilizar varias incertidumbres como, incertidumbre estándar, incertidumbre acumulada e incertidumbre expandida. Estas incertidumbre son totalmente diferentes, la relación entre ellas son la necesidad de una para poder calcular la otra.

La incertidumbre estándar es la variabilidad partículas de los aspectos que influyen en el resultado de la medición. La incertidumbre estándar se puede calcular de dos formas.

La variable tipo A, este tipo consisten en el cálculo por un conjunto de datos obtenidos por la medición ya sea experimental o por un trabajo rutinario. En la ecuación 18 se muestra el cálculo de la Incertidumbre estándar para variable tipo A.

$$u_{(xi)} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots \dots \dots (18)$$

Donde σ es la dispersión de los resultados o la desviación estándar de la población y n es el número de replicas que se realiza para obtener los datos en un corto tiempo.

Variables Tipo B, en estas variables se calcula por medio del un certificado de calibración, es estos variable la incertidumbre ya es calculada por otros organismos, como equipos y patrones calibrados.

El modelo para el cálculo de la incertidumbre se trata en considerar la totalidad del proceso en una sola etapa, donde entra la muestra y sale el resultado, en esta manera la incertidumbre se estima en conjunto para todas las etapas del proceso de medición, al considerarlas agrupada en solamente una.

Se debe demostrar previamente la trazabilidad y homogeneidad de los resultados del proceso mediante el desarrollo de un procedimiento bien estructurado. Por lo tanto, previamente a la aplicación de este modelo de cálculo de la incertidumbre, se debe asegurar la trazabilidad y la homogeneidad de los resultados obtenidos a través del método de ensayo, para ello se emplean pruebas estadísticas adecuadas como son el test de Fisher y el test de t-student.

El modelo propone un análisis de una muestra ideal, homogénea y estable, es decir un material de referencia certificado (MRC), se evalúa la variabilidad de los resultados en condiciones de reproducibilidad estadística, asociando

dichos resultados obtenidos al proceso de ensayo intrínsecamente con independencia de las muestras entre sí.

Se cuantifica la incertidumbre asociada al proceso de medición mediante una evaluación tipo A, obteniendo el valor de incertidumbre estándar correspondiente, la cual se denomina $\mu_{proceso}$.

Debido a la fabricación y evaluación que acompaña al valor del certificado en el MRC se incluye la incertidumbre asociada (evaluación tipo B), este valor de incertidumbre estándar se denomina μ_{MRC} .

Además se evalúa a la incertidumbre que involucra a la determinación de las muestras reales que se van analizar mediante ese proceso de medición, esta incertidumbre incluye la variabilidad asociada al efecto de la matriz de la muestra, que no se trata de una muestra ideal, ni tiene las mismas características que el MRC.

Así, para cada tipo de muestra se estima la variabilidad asociada por niveles de concentración mediante series de repeticiones (evaluación tipo A), esta variabilidad asociada a las muestras repetidas se denota por $\mu_{muestra}$.

La combinación de estas tres incertidumbres estándares nos proporciona la incertidumbre final o incertidumbre acumulada, la cual se muestra en la ecuación 19.

$$u = \sqrt{\mu_{MRC}^2 + \mu_{proceso}^2 + \mu_{muestra}^2 \dots \dots \dots} \quad (19)$$

Se debe asegurar un valor realista de u y un número de repeticiones que realmente sigue el trabajo rutinario de las muestras, de manera que la incertidumbre final estimada refleje en trabajo real del laboratorio.

Para el cálculo de la incertidumbre expandida se utiliza un factor de cobertura k , esta está asociada a una probabilidad (coeficiente de probabilidad α). En la ecuación 20 muestra el cálculo de la incertidumbre expandida.

$$U = ku \dots \dots \dots (20)$$

Para $\alpha = 0,05$ el $k=2$ y para $\alpha=0,01$ el $k =3$.

La representación de la incertidumbre se muestra en la ecuación 21.

$$\bar{x} \pm U \dots \dots \dots (21)$$

Donde \bar{x} es el promedio de los valores.

2.23 Ciclo PHVA

Es un modelo de mejora continua que sigue una secuencia lógica de cuatro pasos repetidos para el mejoramiento y aprendizaje continuo: Planificar, hacer, verificar y actuar. En la ilustración 4 se muestra el ciclo PHVA.

a) Planificar

- Identificar el proceso que se quiere mejorar
- Recopilar datos para profundizar en el conocimiento del proceso
- Análisis e interpretación de los datos
- Establecer los objetivos de mejora

- Detallar las especificaciones de los resultados esperados
 - Definir los procesos necesarios para conseguir estos objetivos, verificando las especificaciones
- b) Hacer
- Ejecutar los procesos definidos en el paso anterior
 - Documentar las actividades realizadas
- c) Verificar
- Pasado un periodo de tiempo previsto de antemano, volver a recopilar datos de control y analizarlos, compararlos con los objetivos y especificaciones iniciales, para evaluar si se ha producido la mejora esperada.
 - Documentar las conclusiones.
- d) Actuar
- Modificar los procesos según las conclusiones del paso anterior para alcanzar los objetivos con las especificaciones iniciales, si fuese necesario.
 - Aplicar nuevas mejoras, si se han detectado errores en el paso anterior.
 - Documentar el proceso.

Ilustración 4: Ciclo PHVA o Ciclo de Deming



CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LOS PROYECTOS

3.1 Control de de Merma del Proceso de Producción de Bolas de Zinc

3.1.1 Descripción del Proceso

El proceso de producción de bolas de zinc consiste en fundir los lingotes de zinc puro en unos hornos a gas (Morgan), como se observa en la ilustración 5, a una temperatura de 500 °C, para luego colar el material fundido en unos moldes tipo racimo con un sistema de enfriamiento, luego son enfriados a medio ambiente. Después de estar a temperatura ambiente son separados de las conexiones entre bolas, para luego colocar las bolas en unos tambores, como se muestra en la ilustración 6, rotatorios para eliminarlas rebarba. Finalmente las bolas son empaquetados en cajas para la exportación. En el anexo A se muestra el diagrama de flujo del proceso de producción de bolas de Zinc.

En esta parte de trabajos calculamos estadísticamente los límites máximo y mínimo de los pesos de la merma que se presenta en el proceso de producción de bolas de zinc. El cálculo de los límites de control es el inicio para la mejora del proceso de producción, para la reducción de la variabilidad de los factores del proceso.

Ilustración 5: Horno Morgan



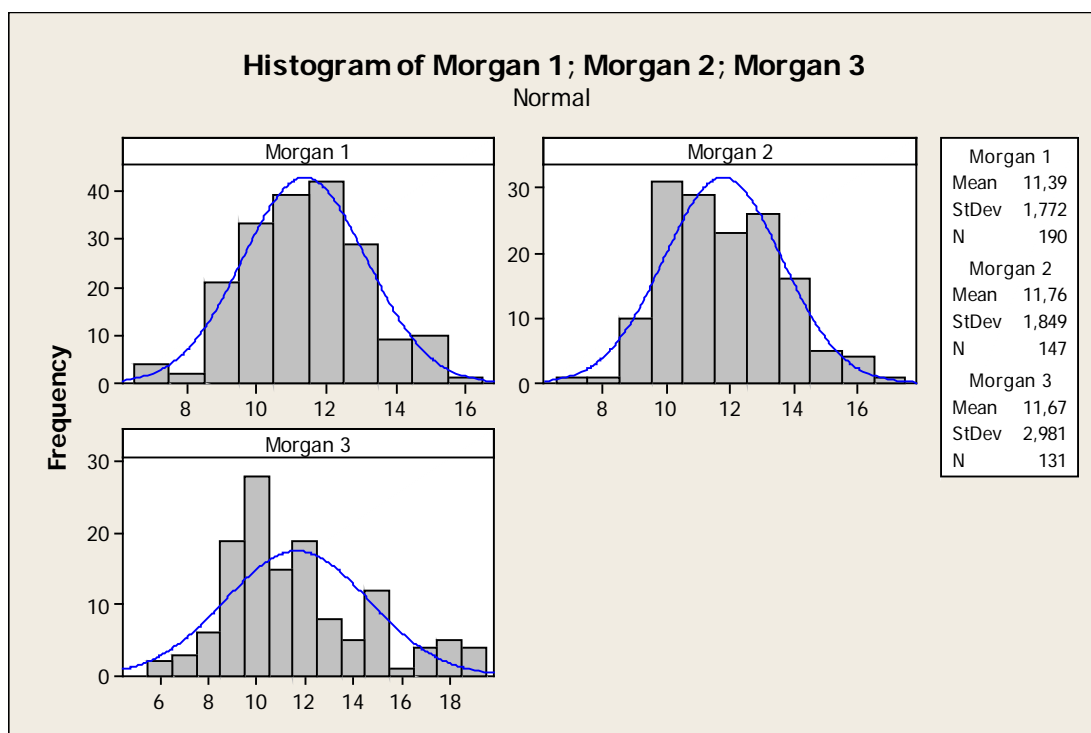
Ilustración 6: Bolas de Zinc



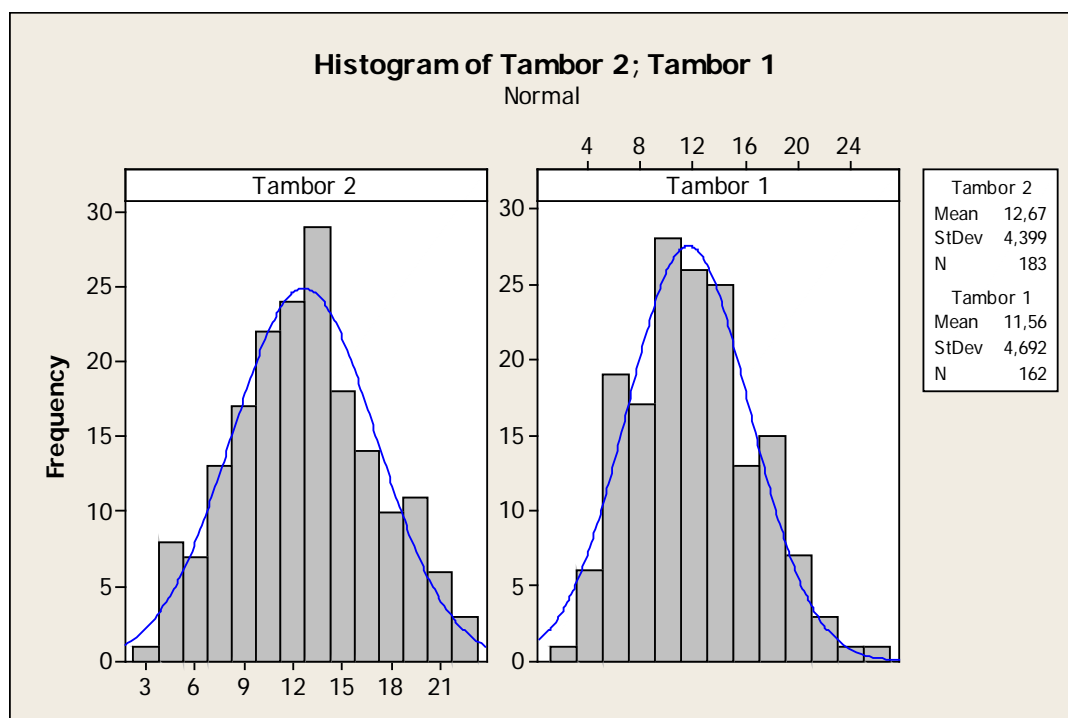
3.1.2 Cálculo de los resultados

Los pesos diarios de las mermas del proceso de producción de bolas de zinc se detallan en el Anexo B, tanto para el subproceso de fundición (Hornos Morgan) y el tamboreo. Estos pesos fueron recolectados en un tiempo de dos meses y medios aproximadamente.

Gráfica 4: Histograma de los Pesos de Productos no Conforme de los Hornos Morgan

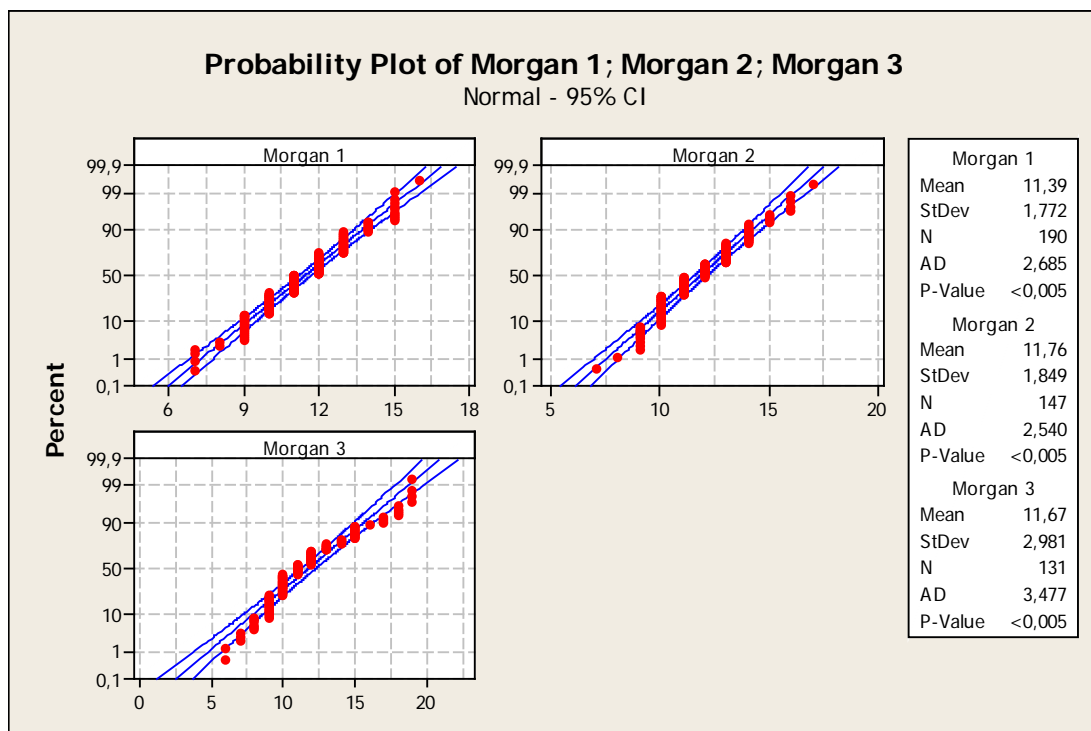


Gráfica 5: Histograma de los Pesos de los productos no Conformes de los Tambores



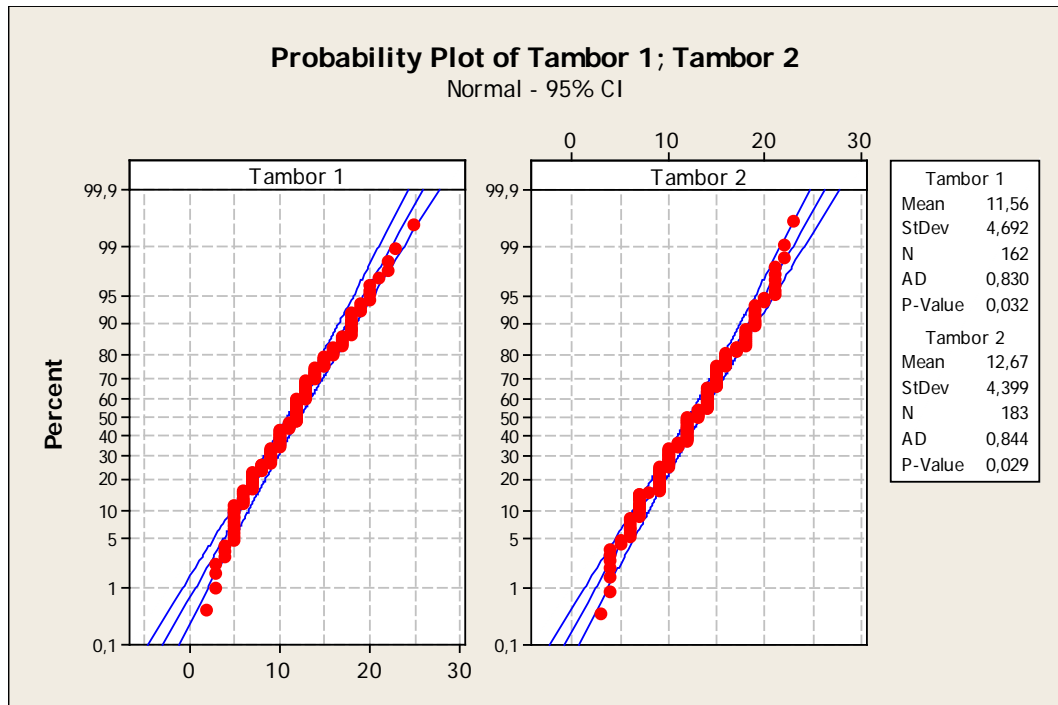
Para demostrar que los datos cumplen una distribución normal se graficó histogramas y un gráficos de probabilidad, que se muestran en la gráfica 4 y 5 para le histograma y las gráficas 6 y 7 para probabilidad.

Gráfica 6: Gráfica de Probabilidad de los Pesos de las mermas de los Hornos Morgan

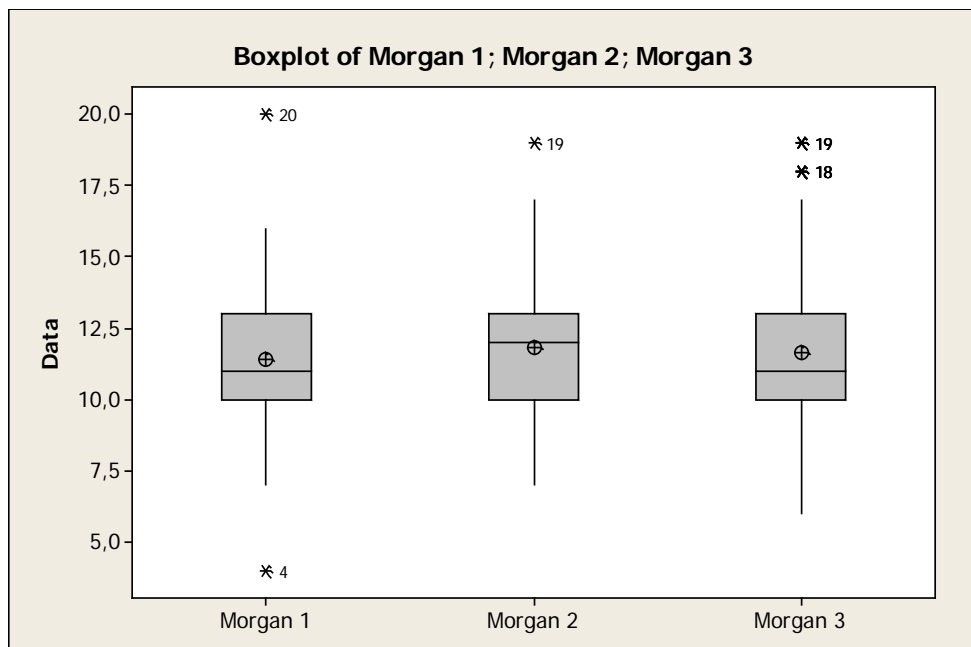


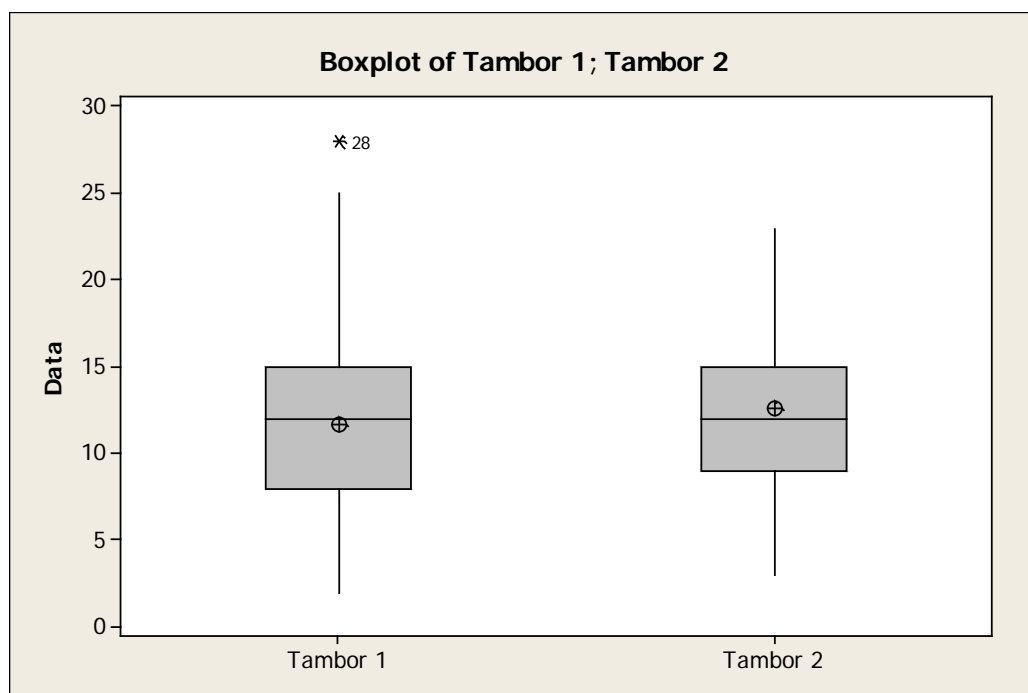
Después de demostrar que los datos cumplen una distribución normal se encuentran los valores atípicos con la gráfica de caja. Estos datos no se deben eliminar previa investigación de las causas que los generaron. En la gráfica 8 y 9 se muestran las gráfica de caja de los subprocesos de fundición (Morgan) y tamboreo.

Gráfica 7: Gráfica de Probabilidad de las Mermas de los Tambores



Gráfica 8: Diagrama de Caja de los pesos de las mermas de los hornos Morgan



Gráfica 9: Diagrama de caja de los pesos de las mermas de los Tambores

Después de eliminar los valores atípicos, se obtienen los límites de control de los datos. Los límites de control nos detallan que los valores que caen dentro de este rango están en control estadístico y los valores que están fuera son valores atípicos.

Es importante conocer los límites de control para encontrar las variables asignables, y luego poderlas corregir y llevar el proceso a un control estadístico o reducir la variabilidad.

Las cartas de control se muestran en el anexo C. En la tabla 3 se detalla los límites de control de los subprocesos.

Tabla 3: Límites de control de los procesos de fundición y tamboreo

Subproceso	Límite Superior	Centro	Límite Inferior
Morgan 1	16,53	11,39	6,26
Morgan 2	17,46	11,76	6,05
Morgan 3	19,14	11,67	4,20
Tambor 1	25,28	11,56	2,17
Tambor 2	17,46	11,76	6,05

3.2 Validación del Ensayo de Medición de Espesores por Ultrasonido

Por las características del método de ensayo se calculan los parámetros; intervalo de trabajo, incertidumbre, precisión y veracidad.

El analíto del método de ensayo es la dimensión del espesor del elemento a ensayar. El material a evaluar es el acero, ya que la mayoría de los elemento están compuesto por este material. La temperatura a evaluar es aproximadamente entre 20 a 25 °C.

La importancia de las mediciones de espesores, como se describe en el punto 2.10, nos lleva a tener un método validado.

3.2.1 Cálculo del Intervalo de Trabajo

El intervalo de trabajo tiene relación con el error de las mediciones, en el tabla 4 se observa los errores de la mediciones, estos valores son casi constantes por lo tanto nuestro intervalo de confianza será de 2 a 30 mm de espesor. Estos errores están por debajo de 0,02 mm lo cual no afectará en las mediciones de nuestras muestras.

Tabla 4: Errores de la Medición

nivel mm	2,00	4,00	7,00	15,10	20,00	25,00	30,10
Error	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02

Los equipos influyen en el intervalo de trabajo, como se ve actualmente en las especificaciones de los equipos indican en que rango pueden trabajar, por lo tanto, es un modo para calcular el intervalo de trabajo.

3.2.2 Cálculo de la Precisión

Para el cálculo de la precisión se utilizaron los datos que se muestran en la tabla 5, las mediciones por niveles fueron realizadas en diferentes días y las réplicas en el mismo día con un intervalo muy corto de tiempo. En el anexo D se muestra el cronograma de mediciones y los resultados.

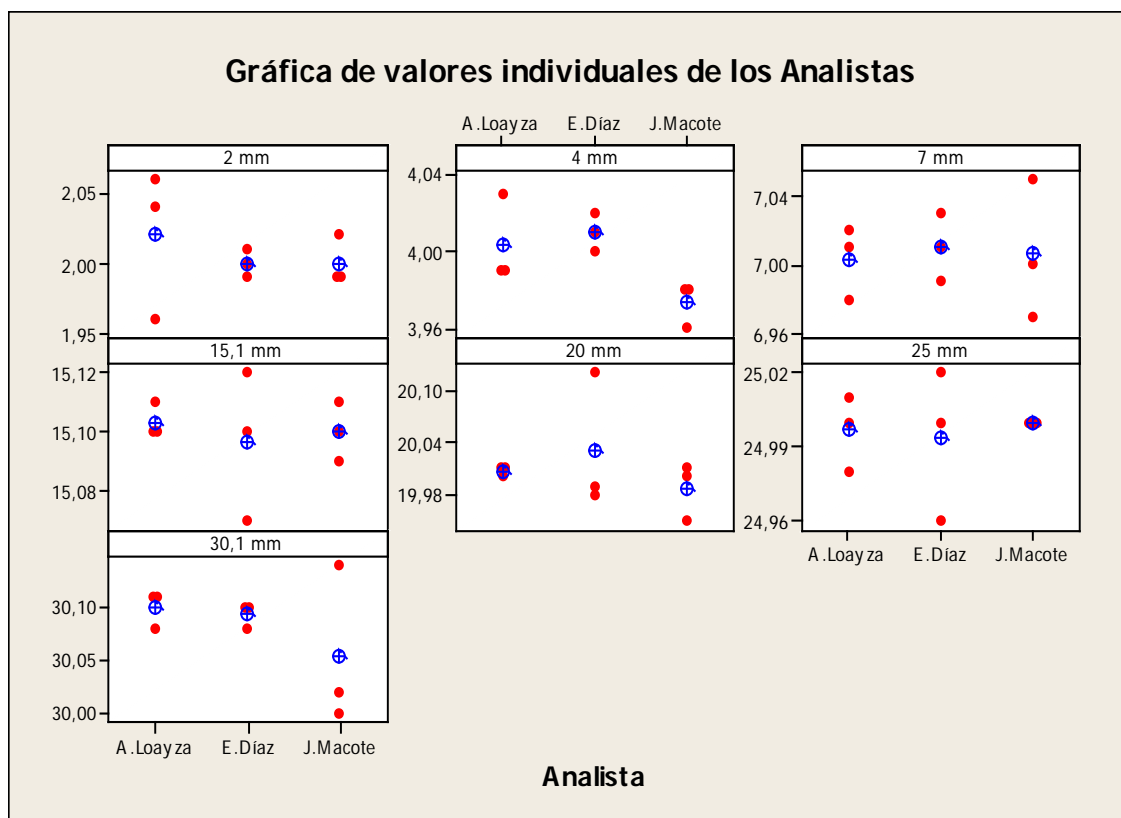
Se utiliza 3 analistas para la prueba con patrones de 7 niveles de espesores.

En el tabla 5 se muestra los datos de la prueba.

Tabla 5: Datos para el cálculo de la precisión y veracidad

Analista	Replica	Espesores(mm)						
		2	4	7	15,1	20,0	25,0	30,1
Amador Loayza	1	1,96	4,03	6,98	15,11	20,01	24,98	30,08
	2	2,04	3,99	7,02	15,10	20,01	25,00	30,11
	3	2,06	3,99	7,01	15,10	20,00	25,01	30,11
Jorge Luis Macote	1	1,99	3,98	6,97	15,11	20,01	25,00	30,00
	2	1,99	3,96	7,05	15,09	20,00	25,00	30,14
	3	2,02	3,98	7,00	15,10	19,95	25,00	30,02
Edwin Díaz	1	1,99	4,02	6,99	15,10	19,99	25,00	30,10
	2	2,00	4,01	7,01	15,12	20,12	25,02	30,10
	3	2,01	4,00	7,03	15,07	19,98	24,96	30,08

Gráfica 10: Valores individuales de los Analistas



Luego de obtener los datos, se calcula los promedios y las desviaciones estándar por analista y nivel, el cuadro 6 y 7 muestran los datos respectivamente.

Tabla 6: Promedio por Analista

Analista	Promedio (mm)						
	2	4	7	15.1	20	25	30,1
Amador Loayza	2,02	4,00	7,00	15,10	20,01	25,00	30,10
Jorge Luis	2,00	3,97	7,01	15,10	19,99	25,00	30,05
Edwin Díaz	2,00	4,01	7,01	15,10	20,00	24,99	30,09

Tabla 7: Desviación Estándar por Analista

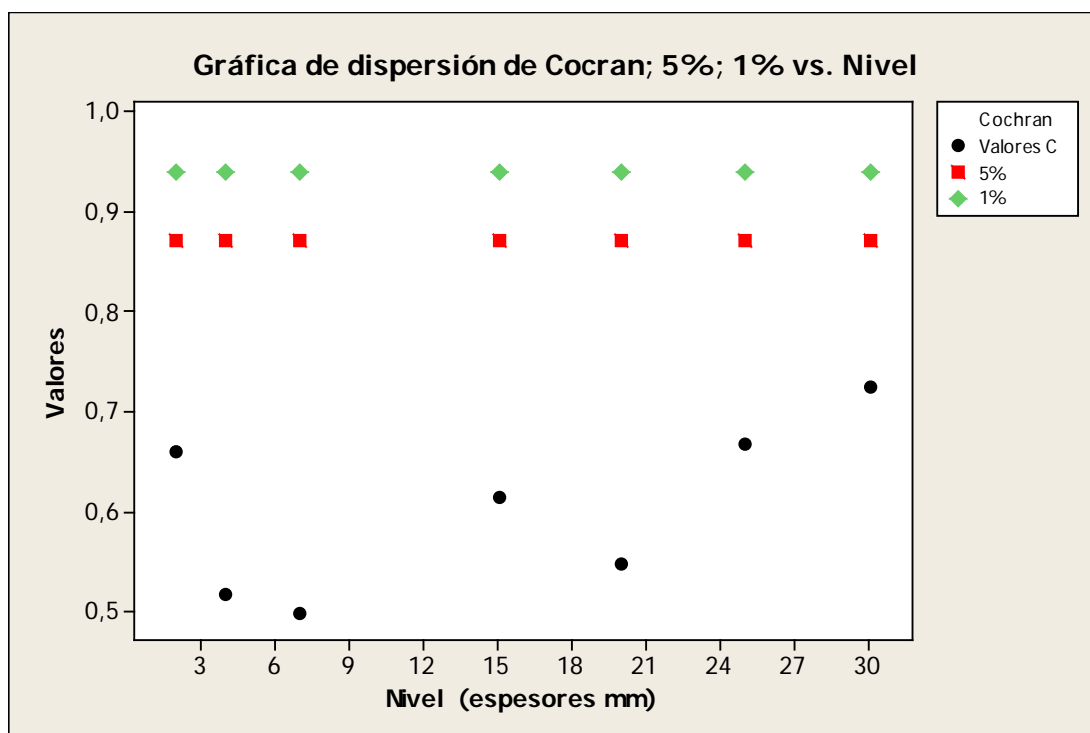
Analista	Desviación estandar (mm)						
	2	4	7	15.1	20	25	30,1
Amador Loayza	0,0529	0,0231	0,0208	0,0058	0,0058	0,0153	0,0173
Jorge Luis	0,0173	0,0115	0,0404	0,01	0,0321	0	0,0757
Edwin Díaz	0,0100	0,0100	0,0200	0,0252	0,0208	0,0306	0,0115

Con la ecuación 5 se calcula la constante de Cochran para encontrar los valores atípicos. En el cuadro 8 se muestra las constantes de Cochran (C) por cada nivel.

Tabla 8: Las Constantes de Cochran por Cada Nivel

Cochran							
item	Nivel (mm)						
	2	4	7	15.1	20	25	30,1
Suma	0,08024	0,04464	0,0812	0,04094	0,05874	0,04583	0,10459
Máx	0,05292	0,02309	0,0404	0,02517	0,03215	0,03055	0,07572
C	0,6595	0,51733	0,49752	0,61471	0,54729	0,66667	0,72398

Gráfica 11: Valores Calculados y Críticos de Cochran



Los límites de Cochran para $p = 3$ y $n = 3$ son 5% = 0,871 y 1% = 0,941, según el anexo E “tabla de valores críticos de Cochran”.

Las varianzas de la repetibilidad s_r^2 , del personal s_L^2 y de la reproducibilidad s_R^2 se muestra en la tabla 9, para el cálculo se utilizó las ecuaciones desde la 6 hasta la 13.

Tabla 9: Varianzas de la Repetibilidad, Personal y Reproducibilidad (mm^2)

S_r^2	0,003	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,006
S_L^2	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
S_R^2	0,003	0,001	0,003	0,001	0,002	0,001	0,007

3.2.3 Cálculo de la Veracidad

Para el cálculo de la veracidad se utiliza las ecuaciones desde la 14 hasta la 17. En la tabla 10 se muestra los sesgos por cada nivel.

Tabla 10: Sesgo de las Mediciones por Cada Nivel

nivel mm	2,00	4,00	7,00	15,10	20,00	25,00	30,10
sesgo (δ)	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02

Los Intervalos de confianza se presentan en la tabla 11.

Tabla 11: Intervalo de confianza por cada nivel

Niveles	límite Superior	Límites Inferior
2,00	0,01	0,00
4,00	0,01	0,00
7,00	0,01	0,01
15,10	0,00	0,00
20,00	0,00	0,00
25,00	0,00	0,00
30,10	0,02	0,01

3.2.4 Cálculo de la Incertidumbre

Para el cálculo de la incertidumbre estándar del patrón μ_{patron} se toman los datos del certificado de calibración de los patrones P1 Y P3, estos datos se muestran en el anexo H e I. El cálculo de la incertidumbre estándar a partir de los datos de los certificados se presenta en la tabla 12.

Tabla 12: Datos de los patrones recolectados del certificado de calibración

Valor nominal (mm)	Incertidumbre (mm)	Incertidumbre estándar (mm)	Número medidas
15,10	0,02	0,01	5
20,00	0,03	0,02	5
25,00	0,04	0,02	5
30,10	0,05	0,03	5
7,00	0,02	0,01	5
4,00	0,02	0,01	5
2,00	0,02	0,01	5

Para calcular la incertidumbre estándar del proceso $\mu_{proceso}$ se realiza medidas de los patrones, estas medidas se realizaron con los analistas y equipo involucrados en la validación. Como el tipo de variable de la incertidumbre es A, entonces se utiliza la ecuación 18. En el cuadro 14 se muestran los datos de las medidas.

Para poder utilizar los datos debemos comprobar que es trazable y homogéneo con el patrón certificado, en el cuadro 13 se muestra los resultados de la prueba de Fisher y t-student.. Los datos calculados de Fisher y t-student son menores que los críticos, por lo tanto son trazables y confiables.

Tabla 14: Datos para el cálculo de la incertidumbre del proceso

Espesor (mm)	2		4		7		15,1		20		25		30,1	
Día	Valores mm	desviación Estandar	Valores mm	desviación Estandar	Valores mm	desviación Estandar	Valores mm	desviación Estandar	Valores mm	desviación Estandar	Valores mm	desviación Estandar	Valores mm	desviación Estandar
1	2,02	0,02	3,99	0,02	7,02	0,02	15,05	0,02	20,02	0,03	25,03	0,01	30,10	0,02
	2,00		4,02		7,03		15,09		20,07		25,02		30,13	
	1,99		4,03		6,99		15,08		20,07		25,01		30,09	
2	2,02	0,03	4,02	0,03	7,04	0,02	15,10	0,02	20,05	0,02	25,01	0,03	30,10	0,02
	1,98		4,04		7,02		15,13		20,04		25,01		30,13	
	2,03		3,98		7,01		15,09		20,02		24,96		30,13	
3	2,02	0,02	3,98	0,03	7,03	0,02	15,10	0,01	20,03	0,02	24,98	0,02	30,09	0,02
	2,00		4,00		6,99		15,10		20,05		25,01		30,10	
	2,03		4,03		7,03		15,08		20,06		24,97		30,12	
4	2,02	0,02	4,02	0,02	7,01	0,02	15,15	0,03	20,02	0,04	24,98	0,01	30,11	0,01
	1,99		4,03		6,99		15,12		20,05		25,05		30,13	
	1,98		4,00		7,02		15,10		20,00		25,03		30,14	
5	2,02	0,01	4,02	0,02	7,03	0,02	15,08	0,02	20,04	0,03	25,00	0,03	30,14	0,02
	2,00		3,98		7,01		15,09		19,98		25,05		30,12	
	2,02		3,99		6,99		15,12		20,03		25,00		30,15	
6	2,01	0,01	4,04	0,03	7,01	0,01	15,11	0,01	20,05	0,03	24,98	0,03	30,08	0,02
	2,00		3,99		7,02		15,12		20,02		24,99		30,12	
	1,99		4,00		7,03		15,10		20,00		25,03		30,09	
7	2,02	0,03	3,98	0,02	7,03	0,01	15,09	0,03	20,00	0,04	25,00	0,03	30,12	0,01
	1,98		4,01		7,02		15,07		19,98		24,98		30,12	
	2,03		3,99		7,02		15,13		20,05		25,03		30,13	
8	2,03	0,03	4,02	0,02	7,04	0,01	15,1	0,01	20,03	0,02	25,01	0,04	30,09	0,02
	2,04		3,99		7,04		15,10		20,03		25,05		30,09	
	1,99		4,00		7,03		15,09		20,06		25,08		30,12	
9	2,02	0,01	4,02	0,02	7,05	0,02	15,12	0,02	19,97	0,04	25,05	0,01	30,11	0,02
	2,04		3,99		7,02		15,11		20,03		25,04		30,12	
	2,04		4,00		7,03		15,09		20,04		25,03		30,14	
10	2,00	0,01	4,00	0,01	7,02	0,02	15,1	0,03	20	0,02	25,01	0,03	30,14	0,01
	2,00		3,99		6,99		15,10		20,03		24,99		30,12	
	2,01		4,00		7,00		15,05		20,02		24,97		30,14	
Promedio	2,01	0,02	4,01	0,02	7,02	0,01	15,10	0,02	20,03	0,03	25,01	0,02	30,12	0,01
C4	0,8864		0,8864		0,8864		0,8864		0,8864		0,8864		0,8864	
Desviación Estandar	0,02		0,02		0,02		0,02		0,03		0,03		0,02	
Incertidumbre Estandar	0,01		0,01		0,01		0,01		0,02		0,02		0,01	

La incertidumbre estándar de la muestra $\mu_{muestra}$ se calcula con datos recolectados en los servicios. La tabla 15 se muestra los datos.

Tabla 15: Cálculo de la incertidumbre estándar de las muestras

Fecha	Mediciones mm	Desviación Estándar
17/01/2009	8,16	0,03
	8,2	
	8,14	
19/02/2009	14,54	0,04
	14,55	
	14,48	
09/04/2009	2,18	0,02
	2,22	
	2,22	
23/05/2009	30,18	0,03
	30,14	
	30,2	
Promedio		0,03
C4		0,8864
Desviación Estándar		0,03
Incertidumbre Estándar		0,02

Para el cálculo de la incertidumbre expandida se toman los valores máximos de las incertidumbres estándar del material de referencia (MRC) y proceso. En la tabla 16 se muestra la incertidumbre estándar del material de referencia MRC, proceso, muestra y la incertidumbre combinada. Se utiliza la ecuación 19 para el cálculo de la incertidumbre combinada.

Tabla 16: Incertidumbres Estándar y Expandida

INCERTIDUMBRE	VALORES mm
Material de Referencia	0,03
Proceso	0,02
Muestra	0,02
COMBINADA	0,04

Para el cálculo de la incertidumbre expandida se utiliza la ecuación 20 con un coeficiente de probabilidad (α) de 0,05 ($k=2$).

Incertidumbre Expandida (U)	0,08 mm
--	---------

La representación de la incertidumbre de una medición es:

$$\bar{x} \pm 0,08 \text{ mm}$$

Donde \bar{x} es el promedio de los datos medidos.

CONCLUSIONES

1. En el **gráfico 4** nos muestra la distribución normal de los tres hornos Morgan, podemos observar que el **Morgan 3** tiene una mayor desviación estándar o variabilidad en los datos recolectados, esto tiene como consecuencia que sus límites de control sean mayores.
2. Según el **gráfico 4**, podemos asegurar que las tres distribuciones de los hornos son normales. La **gráfica 5** muestra que los pesos de las mermas de los tambo 1 y 2 están muy ajustados a la distribución normal.
3. En los **gráficos 6 y 7** nos muestran las gráficas de la probabilidad de los subprocesos (fundición y tamboreo), estas nos indica que cumplen una distribución normal.

4. En la **gráfica 8 y 9** nos muestra los diagramas de caja, las cuales nos indican los valores atípicos de los datos de los subprocesos (Fundición y tamboreo), estos valores atípicos son eliminarlos por seguridad.
5. En la **tabla 3** se detalla los límites de control inferior son los pesos mínimos que deben tener los subprocesos para que esté dentro del control estadístico, también nos indica que al aparecer un dato por debajo de este límite representan que el proceso está mejorando.
6. EL rango de trabajo del método de ensayo validado está entre 2,00 hasta 30,10 mm ya que se verificó la estabilidad de los errores como se muestra en la **tabla 4**, además las especificaciones técnicas del equipo sobre el rango de trabajo es más amplio que el rango que estamos trabajando, como se observa en el **Anexo F**.
7. En el **tabla 8** nos muestra que todos los datos de los niveles son consistentes, o sea que no son atípicos, ya que los valores de Cochran están por debajo de los valores críticos de Cochran.
8. Las varianzas del personal prácticamente es cero en todo los niveles, por lo tanto la varianza de la reproducibilidad y reproducibilidad vienen hacer igual como se ve en la tabla 9.
9. En el **cuadro 11** nos muestra los intervalo de confianza del sesgo, para determinar la veracidad del método, el valor de cero (0) debe

estar en este intervalo, los niveles de 7 mm y 30,10 mm no cumple con tener el cero, por lo tanto se debe buscar las posibles causas en el proceso del método.

10. La **tabla 14** nos indica que todos los datos para el cálculo de la incertidumbre estándar son trazables y confiables, ya que los valores de Fisher y t-student son menores que sus respectivos valores críticos.

OBSERVACIONES

1. En la **gráfica 6**, el horno **Morgan 3** tiene una ligera diferencia con las demás, algunos puntos están cayendo fuera de los límites permitidos, los datos cumple una distribución normal porque se considerar que los datos entre el 25 y 75 % de probabilidad deben estar dentro de los límites.
2. En el **cuadro 3** nos muestra que el **Tambor 1** tiene una mayor variabilidad de los subprocesos por lo tanto se puede realizar un trabajo de mejora para reducir los límites de control.
3. La incertidumbre expandida calculada (0,08 mm) no influye en las mediciones en campo, ya que las especificaciones de las normas para la calificación de los defectos son números enteros para ciertos trabajos.

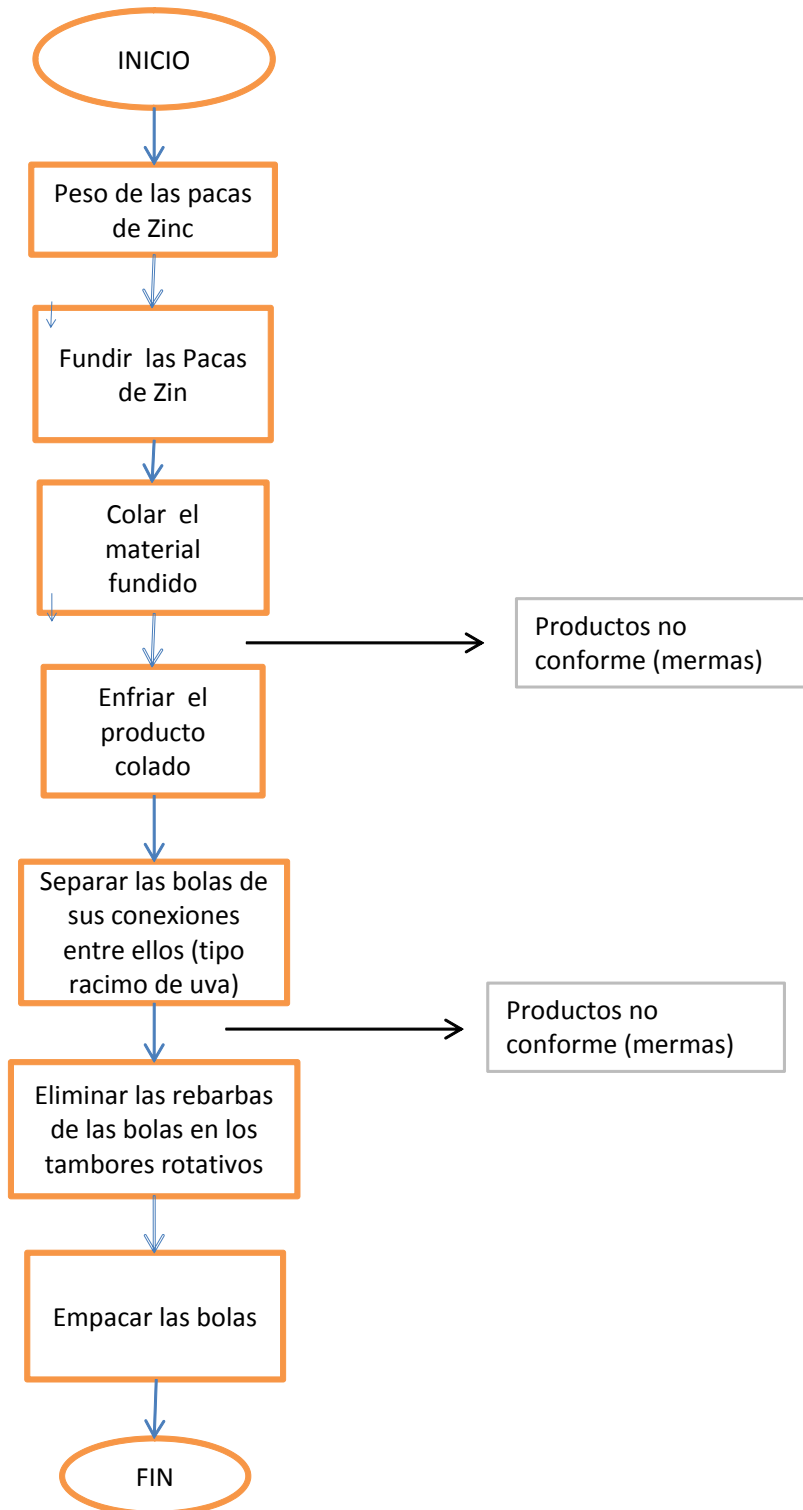
4. Después de obtener los límites de control de las mermas y los parámetros de validación se inicia la mejora de los procesos, un método de mejora continua que se puede aplicar es el PHVA (ciclo de deming), la cual se explica en el punto 2.23.
5. La reducción de la variabilidad tanto en las mermas de proceso de fabricación de bolas de zinc y los parámetros de validación del ensayo, aumenta la calidad de los procesos, y estos nos lleva a obtener mayor rentabilidad para nuestra organización (función perdida punto 2.9).

BIBLIOGRAFÍA

1. Juran, J. Manual de Control de Calidad, USA Mc Graw-Hill (1993)
2. Douglas C. Montgomery Control Estadístico de Calidad , Mexico, Limusa Wiley (2005)
3. Gutiérrez, H y De la Vara, R Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma, México, Mc Graw-Hill (2004)
4. Montgomery, D Diseño y Análisis de Experimento, México, Grupo Editorial Iberoamérica (1991)
5. Indecopi NTP-ISO 5725-2 Exactitud (veracidad y precisión) de los métodos y resultados de medición-parte 2, Peru, Indecopi (1999)
6. Indecopi NTP-ISO 5725-4 Exactitud (veracidad y precisión) de los métodos y resultados de medición-parte 4, Peru, Indecopi (1999)

ANEXOS

ANEXO A: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PRODUCTIVO DE BOLAS DE ZINC



ANEXO B: DATOS DE LOS SUBPROCESO DE LA PRODUCCIÓN DE BOLAS DE ZINC**ANEXO B1: Datos de peso (kg) del Horno Morgan 1**

Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos
1	9	31	12	61	11	91	11	121	12	151	13	181	9
2	10	32	11	62	13	92	10	122	11	152	12	182	11
3	10	33	11	63	9	93	11	123	10	153	11	183	12
4	13	34	15	64	10	94	10	124	14	154	14	184	11
5	12	35	12	65	11	95	11	125	10	155	14	185	13
6	14	36	9	66	9	96	10	126	12	156	13	186	11
7	9	37	14	67	9	97	9	127	11	157	10	187	9
8	13	38	13	68	13	98	7	128	11	158	11	188	12
9	8	39	12	69	9	99	7	129	13	159	12	189	10
10	10	40	14	70	11	100	12	130	13	160	11	190	10
11	10	41	13	71	12	101	9	131	12	161	10		
12	11	42	10	72	10	102	11	132	11	162	12		
13	10	43	13	73	12	103	12	133	12	163	13		
14	11	44	13	74	12	104	15	134	10	164	14		
15	15	45	9	75	9	105	11	135	13	165	10		
16	15	46	14	76	11	106	12	136	12	166	10		
17	13	47	10	77	10	107	10	137	11	167	12		
18	10	48	7	78	13	108	11	138	15	168	12		
19	13	49	11	79	13	109	12	139	15	169	11		
20	16	50	10	80	12	110	12	140	9	170	12		
21	10	51	15	81	9	111	10	141	13	171	12		
22	13	52	13	82	11	112	9	142	9	172	12		
23	14	53	8	83	11	113	13	143	9	173	13		
24	10	54	13	84	12	114	12	144	11	174	11		
25	10	55	9	85	7	115	10	145	13	175	10		
26	11	56	12	86	11	116	15	146	10	176	11		
27	9	57	12	87	13	117	11	147	11	177	12		
28	12	58	11	88	12	118	12	148	10	178	11		
29	12	59	15	89	12	119	12	149	11	179	13		
30	15	60	13	90	12	120	12	150	9	180	12		

ANEXOB2: Datos de Peso (kg) del Horno Morgan 2

Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos
1	9	31	9	61	11	91	10	121	11
2	14	32	14	62	12	92	10	122	10
3	10	33	11	63	11	93	10	123	11
4	10	34	11	64	9	94	11	124	13
5	17	35	12	65	12	95	14	125	13
6	13	36	9	66	13	96	10	126	11
7	10	37	13	67	14	97	10	127	13
8	16	38	10	68	10	98	13	128	11
9	10	39	10	69	11	99	12	129	14
10	8	40	10	70	13	100	12	130	14
11	15	41	14	71	10	101	13	131	11
12	15	42	11	72	11	102	13	132	12
13	10	43	12	73	16	103	12	133	11
14	15	44	13	74	10	104	11	134	13
15	15	45	9	75	9	105	13	135	10
16	7	46	11	76	9	106	14	136	13
17	14	47	13	77	11	107	10	137	11
18	12	48	10	78	10	108	14	138	11
19	10	49	11	79	11	109	14	139	11
20	13	50	12	80	12	110	12	140	14
21	10	51	13	81	13	111	11	141	10
22	10	52	12	82	13	112	12	142	13
23	14	53	11	83	13	113	10	143	10
24	11	54	14	84	10	114	14	144	10
25	13	55	12	85	13	115	16	145	13
26	16	56	12	86	12	116	9	146	12
27	10	57	12	87	10	117	11	147	12
28	15	58	9	88	12	118	9		
29	14	59	12	89	13	119	11		
30	13	60	12	90	11	120	11		

ANEXOB3: Datos de Peso (kg) del horno Morgan 3

Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos
1	10	31	15	61	10	91	18	121	12
2	9	32	10	62	10	92	18	122	10
3	10	33	7	63	12	93	6	123	15
4	12	34	10	64	12	94	12	124	13
5	15	35	11	65	9	95	11	125	11
6	9	36	13	66	10	96	10	126	14
7	9	37	12	67	12	97	15	127	14
8	10	38	11	68	11	98	9	128	12
9	10	39	10	69	8	99	15	129	16
10	10	40	7	70	13	100	9	130	13
11	9	41	15	71	10	101	8	131	9
12	18	42	15	72	11	102	17		
13	11	43	11	73	13	103	9		
14	12	44	15	74	8	104	9		
15	18	45	15	75	11	105	17		
16	10	46	11	76	10	106	10		
17	11	47	15	77	8	107	10		
18	12	48	19	78	14	108	17		
19	10	49	14	79	9	109	8		
20	10	50	9	80	9	110	9		
21	13	51	13	81	12	111	9		
22	9	52	11	82	11	112	12		
23	10	53	9	83	19	113	7		
24	12	54	12	84	19	114	6		
25	12	55	12	85	18	115	9		
26	8	56	11	86	19	116	10		
27	10	57	10	87	17	117	10		
28	9	58	11	88	12	118	13		
29	10	59	10	89	14	119	12		
30	10	60	12	90	15	120	15		

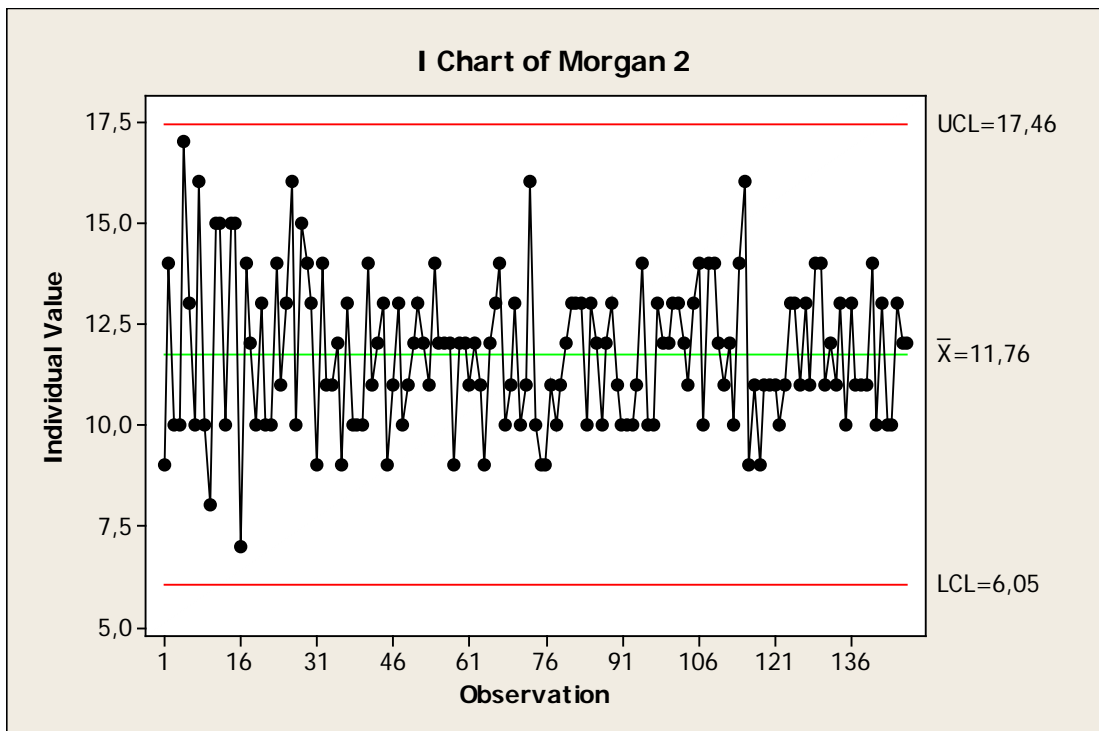
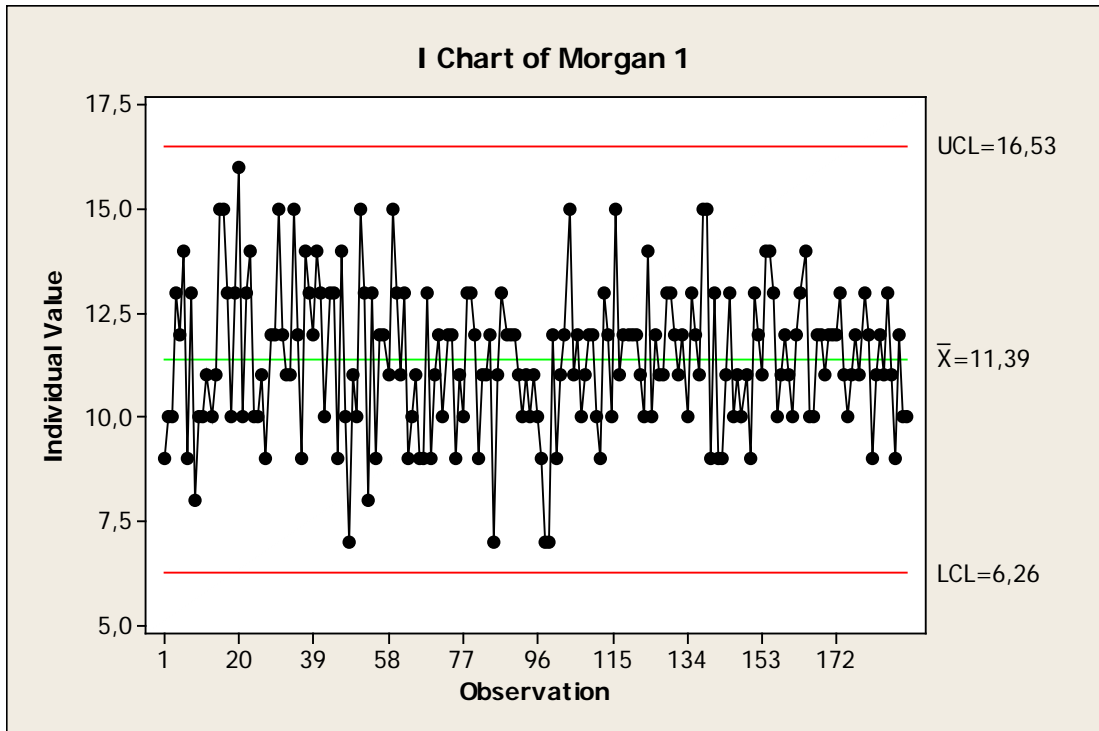
ANEXOB4: Datos de Peso (kg) del Tambor 1

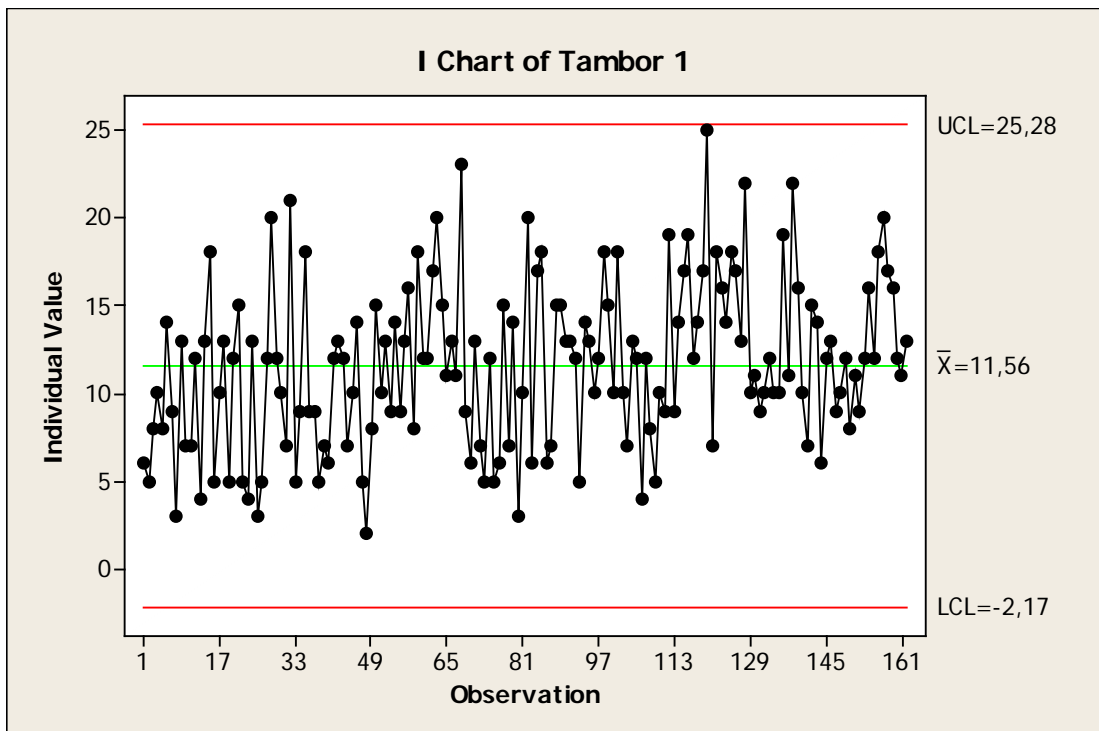
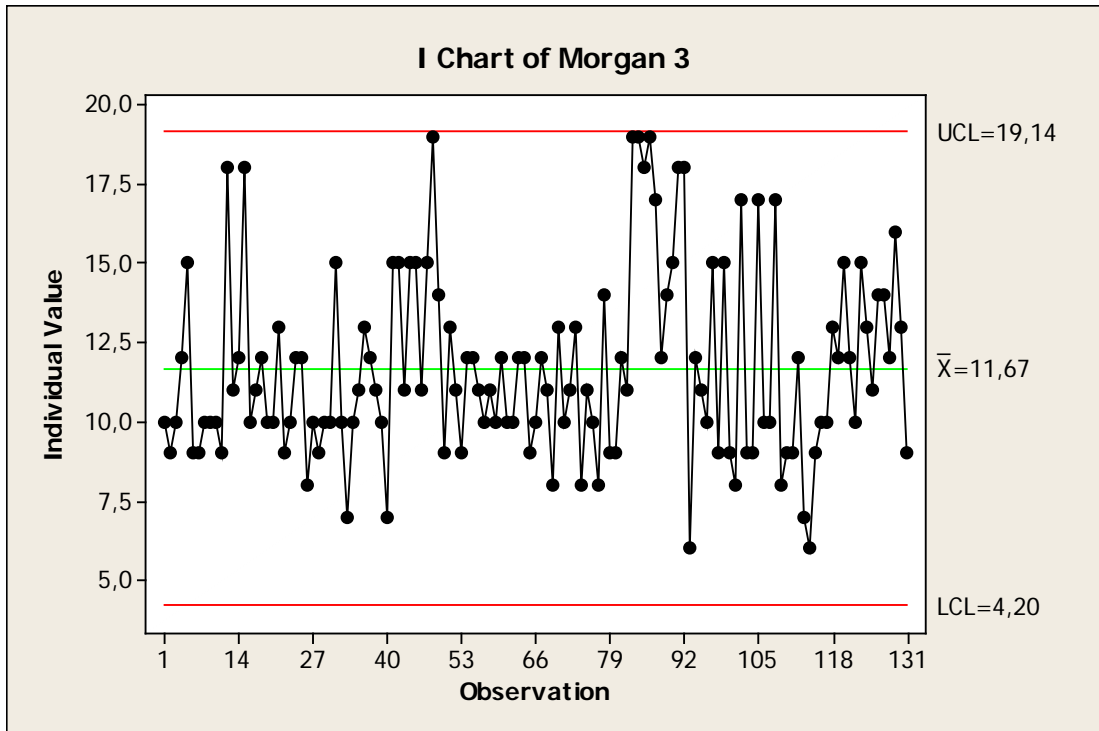
Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos
1	6	31	7	1	12	31	13	61	7	91	11
2	5	32	21	2	17	32	12	62	18	92	9
3	8	33	5	3	20	33	5	63	16	93	12
4	10	34	9	4	15	34	14	64	14	94	16
5	8	35	18	5	11	35	13	65	18	95	12
6	14	36	9	6	13	36	10	66	17	96	18
7	9	37	9	7	11	37	12	67	13	97	20
8	3	38	5	8	23	38	18	68	22	98	17
9	13	39	7	9	9	39	15	69	10	99	16
10	7	40	6	10	6	40	10	70	11	100	12
11	7	41	12	11	13	41	18	71	9	101	11
12	12	42	13	12	7	42	10	72	10	102	13
13	4	43	12	13	5	43	7	73	12		
14	13	44	7	14	12	44	13	74	10		
15	18	45	10	15	5	45	12	75	10		
16	5	46	14	16	6	46	4	76	19		
17	10	47	5	17	15	47	12	77	11		
18	13	48	2	18	7	48	8	78	22		
19	5	49	8	19	14	49	5	79	16		
20	12	50	15	20	3	50	10	80	10		
21	15	51	10	21	10	51	9	81	7		
22	5	52	13	22	20	52	19	82	15		
23	4	53	9	23	6	53	9	83	14		
24	13	54	14	24	17	54	14	84	6		
25	3	55	9	25	18	55	17	85	12		
26	5	56	13	26	6	56	19	86	13		
27	12	57	16	27	7	57	12	87	9		
28	20	58	8	28	15	58	14	88	10		
29	12	59	18	29	15	59	17	89	12		
30	10	60	12	30	13	60	25	90	8		

ANEXOB5: Datos de Peso (kg) del Tambor 2

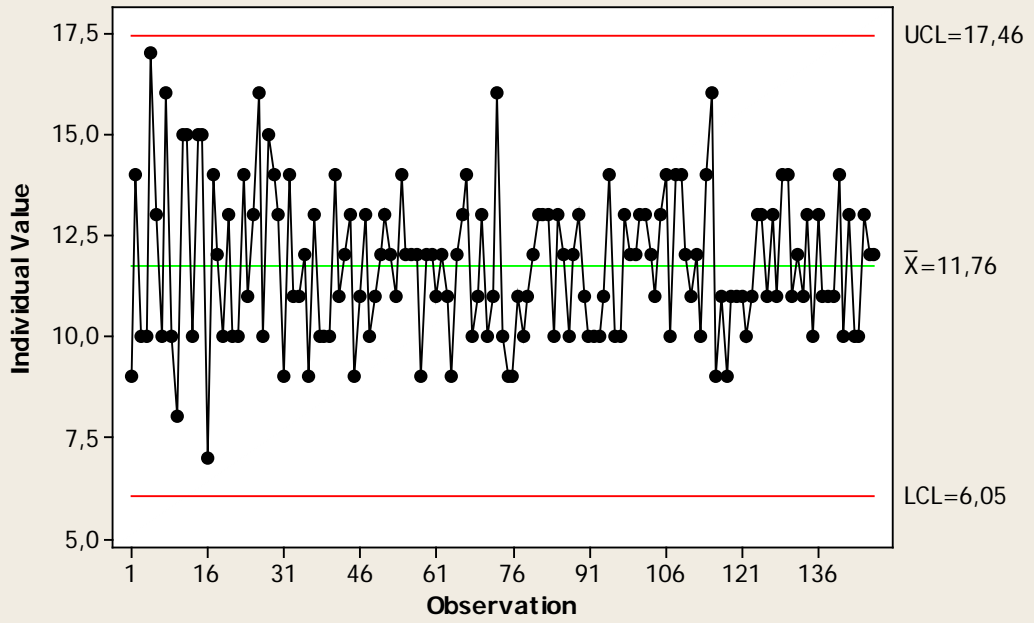
Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos	Nº	Datos
1	10	31	4	61	11	91	9	121	7	151	19	181	16
2	15	32	18	62	13	92	12	122	7	152	15	182	10
3	15	33	15	63	6	93	13	123	19	153	19	183	14
4	13	34	7	64	19	94	12	124	10	154	18		
5	23	35	14	65	12	95	20	125	18	155	9		
6	14	36	12	66	18	96	11	126	6	156	16		
7	14	37	4	67	16	97	8	127	16	157	16		
8	18	38	14	68	9	98	12	128	10	158	15		
9	12	39	4	69	15	99	5	129	12	159	15		
10	10	40	15	70	15	100	22	130	12	160	15		
11	12	41	5	71	19	101	9	131	13	161	21		
12	6	42	21	72	19	102	12	132	14	162	18		
13	4	43	13	73	18	103	7	133	9	163	17		
14	9	44	14	74	18	104	9	134	14	164	7		
15	9	45	18	75	14	105	13	135	12	165	12		
16	9	46	19	76	14	106	9	136	7	166	10		
17	6	47	21	77	15	107	12	137	10	167	11		
18	12	48	16	78	14	108	6	138	22	168	12		
19	7	49	11	79	15	109	10	139	14	169	10		
20	14	50	12	80	12	110	21	140	9	170	19		
21	15	51	12	81	20	111	7	141	14	171	7		
22	4	52	15	82	14	112	10	142	16	172	16		
23	14	53	15	83	9	113	14	143	18	173	16		
24	10	54	13	84	10	114	11	144	15	174	7		
25	4	55	12	85	11	115	10	145	9	175	15		
26	14	56	17	86	12	116	9	146	17	176	16		
27	6	57	12	87	12	117	14	147	7	177	9		
28	3	58	7	88	6	118	12	148	10	178	17		
29	21	59	10	89	21	119	9	149	14	179	15		
30	13	60	19	90	9	120	12	150	10	180	14		

ANEXO C: GRÁFICO DE CONTROL DE PESO DE LOS SUBPROCESOS





I Chart of Morgan 2



ANEXO D: CRONOGRAMA Y RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

Ensayista	Cronograma de Medición de Patrones (espesores mm)						
	día 1	día 2	día 3	día 4	día 5	día 6	día 7
Amador Loayza	2	30,1	25	20	15,1	7	4
Jorge Luis Macote	4	2	30,1	25	20	15,1	7
Edwin Díaz	7	4	2	30,1	25	20	15,1

FECHA: 18/05/2009	
Analista	Valores (mm)
Amador Loayza Hora: 10:00	1,96
V. Equipo 5800 V. Patron 5889	2,04
espesor: 2 mm	2,06
Jorge Luis Hora: 16:00	3,98
V. Equipo 5863 V. Patron 5811	3,96
espesor: 4 mm	3,98
Edwin Hora: 17:20	6,99
V. Equipo 5860 V. Patron 5834	7,01
espesor: 7 mm	7,03

FECHA: 19/05/2009	
Analista	Valores (mm)
Amador Loayza Hora: 10:00	30,08
V. Equipo 5907 V. Patron 5921	30,11
espesor: 30,1 mm	30,11
Jorge Luis Hora: 12:30	1,99
V. Equipo 5900 V. Patron 5964	1,99
espesor: 2,00	2,02
Edwin Hora: 14:30	4,02
V. Equipo 5910 V. Patron 5929	4,01
espesor: 4,00 mm	4,00

FECHA: 20/05/2009	
Analista	Valores (mm)
Amador Loayza Hora: 10:00	24,98
V. Equipo 5900 V. Patron 5896	25,00
espesor: 25	25,01
Jorge Luis Hora: 12:30	30,00
V. Equipo 5885 V. Patron 5878	30,14
espesor: 30,1	30,02
Edwin Hora: 16:00	1,99
V. Equipo 5919 V. Patron 5839	2,00
espesor: 2,00 mm	2,01

FECHA: 21/05/2009	
Analista	Valores (mm)
Amador Loayza Hora: 9:30	20,01
V. Equipo 5919 V. Patron 5907	20,01
espesor: 20 mm	20,00
Jorge Luis Hora: 14:30	25,00
V. Equipo 5897 V. Patron 5898	25,00
espesor: 25 mm	25,00
Edwin Hora: 16:00	30,10
V. Equipo 5889 V. Patron 5901	30,11
espesor: 30,1 mm	30,08

FECHA: 22/05/2009	
Analista	Valores (mm)
Amador Loayza Hora: 10:00	15,11
V. Equipo 5909 V. Patron 5918	15,10
espesor: 15,1 mm	15,10
Jorge Luis Hora: 14:30	20,01
V. Equipo 5902 V. Patron 5900	20,01
espesor: 20 mm	19,95
Edwin Hora: 16:30	25,00
V. Equipo 5880 V. Patron 5897	25,02
espesor: 25,00 mm	24,96

FECHA: 25/05/2009	
Analista	Valores (mm)
Amador Loayza Hora: 09:30	6,98
V. Equipo 5880 V. Patron 5910	7,02
espesor: 7 mm	7,01
Jorge Luis Hora: 9:30	15,11
V. Equipo 5903 V. Patron 5903	15,09
espesor: 15,1 mm	15,10
Edwin Hora: 16:00	19,99
V. Equipo 5890 V. Patron 5900	20,02
espesor: 20 mm	19,98

FECHA: 26/05/2009	
Analista	Valores (mm)
Amador Loayza Hora: 9:00	4,03
V. Equipo 5902 V. Patron 5915	3,99
espesor: 4 mm	3,99
Jorge Luis Hora: 12:30	6,97
V. Equipo 5895 V. Patron 5920	7,05
espesor: 7 mm	7,00
Edwin Hora: 16:00	15,10
V. Equipo 5920 V. Patron 5880	15,12
espesor: 15,1 mm	15,07

ANEXO E VALORES CRÍTICOS DE COCHRAN C

<i>p</i>	Uno más grande o uno más pequeño		Dos más grandes o dos más pequeños	
	Superior 1%	Superior 5%	Inferior 1%	Inferior 5%
3	1,155	1,155	-	-
4	1,496	1,481	0,000 0	0,000 2
5	1,764	1,715	0,001 8	0,009 0
6	1,973	1,887	0,011 6	0,034 9
7	2,139	2,020	0,030 8	0,070 8
8	2,274	2,126	0,056 3	0,110 1
9	2,387	2,215	0,085 1	0,149 2
10	2,482	2,290	0,115 0	0,186 4
11	2,564	2,355	0,144 8	0,221 3
12	2,636	2,412	0,173 8	0,253 7
13	2,699	2,462	0,201 6	0,283 6
14	2,755	2,507	0,228 0	0,311 2
15	2,806	2,549	0,253 0	0,336 7
16	2,852	2,585	0,276 7	0,360 3
17	2,894	2,620	0,299 0	0,382 2
18	2,932	2,651	0,320 0	0,402 5
19	2,968	2,681	0,339 8	0,421 4
20	3,001	2,709	0,358 5	0,439 1
21	3,031	2,733	0,376 1	0,455 6
22	3,060	2,758	0,392 7	0,471 1
23	3,087	2,781	0,408 5	0,485 7
24	3,112	2,802	0,423 4	0,499 4
25	3,135	2,822	0,437 6	0,512 3
26	3,157	2,841	0,451 0	0,524 5
27	3,178	2,859	0,463 8	0,536 0
28	3,199	2,876	0,475 9	0,547 0
29	3,218	2,893	0,487 5	0,557 4
30	3,236	2,908	0,498 5	0,567 2
31	3,253	2,924	0,509 1	0,576 6
32	3,270	2,938	0,519 2	0,585 6
33	3,286	2,952	0,528 8	0,594 1
34	3,301	2,965	0,538 1	0,602 3
35	3,316	2,979	0,546 9	0,610 1
36	3,330	2,991	0,555 4	0,617 5
37	3,343	3,003	0,563 6	0,624 7
38	3,356	3,014	0,571 4	0,631 6
39	3,369	3,025	0,578 9	0,638 2
40	3,381	3,036	0,586 2	0,644 5

Tomada de la referencia [4] del anexo C, con el permiso de la American Statistical Association.
p = número de laboratorios en un determinado nivel

**ANEXO F: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO DE MEDICIÓN DE ESPESORES
STRESSTEL**

Ultrasonic Thickness Gauge T-Mike E™ by StressTel

Specifications

Physical Description	
Unit Size	2.5" (64 mm) wide, 4.5" (114 mm) long, 1.25" (32 mm) deep
Weight	11 ounces (320 grams) with batteries.
Case	Environmentally sealed extruded aluminum.
Keypad	Water resistant sealed keypad.
Material	
Calibration	Steels, aluminum, glass and plastics.
Power Supply	
Battery	4 Alkaline or NiCad batteries, interchangeable and easy to access.
Continuous Operating Time	Typical operation 300 hours. Approximately 80 hours continuous operating time with backlight.
Operation	
Measuring Range	Typically 0.025 to 19.999 inches (0.635 to 507.975 mm)
Measuring Resolution	±0.001" or ±0.01 mm
Sound Velocity Range	From less than 0.999 inches per microsecond.
Surface Temperature Range	0°F to 300°F (-18°C to 150°C). High temperature probes available.
Calibration	Single or two-point calibration.
Display	
Measurements	4-1/2 digit backlit LCD readout.
Coupling Check	Coupling indicator.
Battery Check	Display flashes on and off.
Unit Systems	English / Metric selectable INCH or MM displayed.
Color	Amber backlight color for easy use and low eye strain.
Transducer	
Description	5 MHz, 0.25" diameter standard included or high resolution probe. Full range available.
Connection	Lemo quick disconnect.
Configuration	Dual-element ultrasonic probe.
Cable	4 foot, environment protected.
Warranty	
	2 years from date of shipment, excluding expendable items.

ANEXO G: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO STRESSTEL T-MAKE-E

CERTIFICATE NO. UT-TME-END-2454307 WORK ORDER NO. 22176

NDTEC, INC.
20547 OLD CUTLER ROAD
MIAMI, FLORIDA 33189

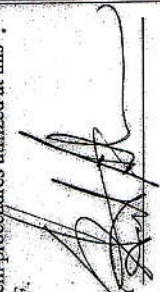
CERTIFICATE OF CALIBRATION

CUSTOMER ENDECOT SAC

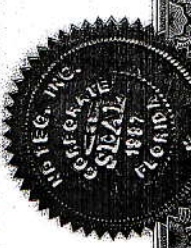
INSTRUMENT DESCRIPTION StressTel PURCHASE ORDER NO. IM-004-06
MODEL T-Mike-E SERIAL NO. 00MC81
CONDITION CODE A

The accuracy of this instrument described above has been confirmed by standard test equipment and laboratory reference standards traceable to the National Institute of Standards and Technology. The calibration system procedures utilized at this facility conform to the requirements set forth in ANS/NSCL Z540-1-1994, and MIL-STD-271F.

This instrument meets or exceeds the specification of the manufacturer.

DATE CERTIFIED July 25, 2007 CERTIFIED BY 

CERTIFICATION DUE DATE July 25, 2008 TITLE NDT Level III, ASNT 17319



Condition Codes
A - Instrument in tolerance. No adjustment required. None made.
B - Instrument in tolerance. Adjustment made only to center Tolerance range.
C - Instrument not in tolerance. Adjustment required.
D - Instrument not in tolerance. Repairs performed.

ANEXO H: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL PATRO P1



INFORME DE CALIBRACION LLA-012-2003

EXP. : 13345
PAGINA : 1 DE 2
FECHA : 2003-02-06

1. SOLICITANTE : ENDECOT S.A.C.
DIRECCION : Calle Larco Herrera 794 - Magdalena
2. INSTRUMENTO DE MEDICION : BLOQUE DE ALTURA (ESCALONADO)
VALOR NOMINAL : 1 mm a 8 mm
MARCA : NO INDICA
MODELO : NO INDICA
PROCEDENCIA : NO INDICA
N° DE SERIE : NO INDICA
MATERIAL : ACERO
IDENTIFICACION : P1
3. METODO Y PATRON DE MEDICION
Determinación de las alturas del bloque escalonado por medición directa utilizando un medidor universal de longitudes con certificado INDECOPÍ/SNM-LLA-278-2001.
4. RESULTADOS
Temperatura Ambiental: 21 °C Humedad Relativa: 60 % Presión Ambiental: 998 mbar
Los resultados se muestran en las tablas de la siguiente página.
La incertidumbre de medición ha sido determinada con un factor de cobertura $k=2$; para un nivel de confianza de 95 %
4. OBSERVACIONES
Los resultados mostrados son el promedio de cinco medidas efectuadas en diferentes puntos de las caras del bloque.
El bloque no cuenta con especificaciones del error máximo permitido.

ING. JOSE DAJES CASTRO
JEFE DEL SERVICIO NACIONAL
DE METROLOGIA

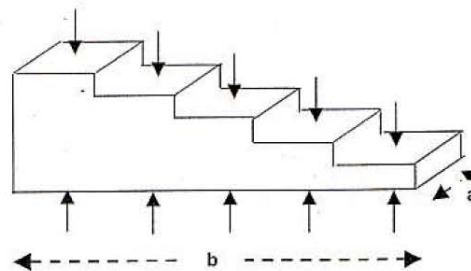
INFORME DE CALIBRACION LLA-012-2003

PAG. 2 DE 2

VALOR NOMINAL (mm)	ALTURA ENCONTRADA (mm)	INCERTIDUMBRE ± (mm)
1,0	0,99	0,02
2,0	1,96	0,02
3,0	2,99	0,02
4,0	3,97	0,02
5,0	5,02	0,02
6,0	6,02	0,02
7,0	7,02	0,02
8,0	8,00	0,02

DIMENSIONES ADICIONALES

IDENTIFICACION	VALOR ENCONTRADO (mm)	INCERTIDUMBRE ± (mm)
a	15,02	0,04
b	119,97	0,04

ANEXO I: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL PATRON P3



INFORME DE CALIBRACION LLA-011-2003

EXP. : 13345
PAGINA : 1 DE 2
FECHA : 2003-02-06

1. SOLICITANTE : ENDECOT S.A.C.
DIRECCION : Calle Larco Herrera 794 - Magdalena
2. INSTRUMENTO DE MEDICION : BLOQUE DE ALTURA (ESCALONADO)
VALOR NOMINAL : 15,1 mm a 30,1 mm
MARCA : NO INDICA
MODELO : NO INDICA
PROCEDENCIA : NO INDICA
N° DE SERIE : NO INDICA
MATERIAL : ACERO
IDENTIFICACION : P3

3. METODO Y PATRON DE MEDICION

Determinación de las alturas del bloque escalonado por medición directa utilizando un medidor universal de longitudes con certificado INDECOPi/SNM-LLA-278-2001.

4. RESULTADOS

Temperatura Ambiental: 21 °C Humedad Relativa: 60 % Presión Ambiental: 998 mbar

Los resultados se muestran en las tablas de la siguiente página.

La incertidumbre de medición ha sido determinada con un factor de cobertura $k=2$; para un nivel de confianza de 95 %

4. OBSERVACIONES

Los resultados mostrados son el promedio de cinco medidas efectuadas en diferentes puntos de las caras del bloque.

El bloque no cuenta con especificaciones del error máximo permitido.

ING. JOSE DAJES CASTRO
JEFE DEL SERVICIO NACIONAL
DE METROLOGIA

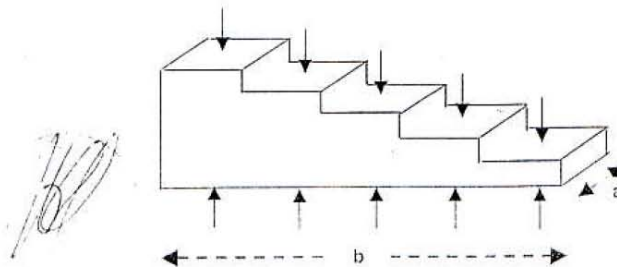
INFORME DE CALIBRACION LLA-011-2003

PAG. 2 DE 2

VALOR NOMINAL (mm)	ALTURA ENCONTRADA (mm)	INCERTIDUMBRE ± (mm)
15,1	15,12	0,02
20,0	20,04	0,03
25,0	24,98	0,04
30,1	30,15	0,05

DIMENSIONES ADICIONALES

IDENTIFICACION	VALOR ENCONTRADO (mm)	INCERTIDUMBRE ± (mm)
a	15,02	0,04
b	59,96	0,04



ANEXO J: CÁLCULO DE LA VARIANZA DE LA REPRODUCIBILIDAD Y REPETIBILIDAD

Esto muestra que una celda en el nivel 3 puede ser considerada como rezagada, y que no existe ningún valor atípico. El rezagado es conservado en los cálculos posteriores.

Las pruebas de Grubbs fueron aplicadas a las medias de celda, dando los valores mostrados en la tabla B.4. No hay ni un solo rezagado o valor atípico. En los niveles 2 y 4, los resultados altos para los laboratorios 3 y 6 son rezagados de acuerdo con la prueba doble-alto; éstos fueron mantenidos en el análisis.

B.1.6 Cálculo de \hat{m}_i , s_i y s_{ri}

Las varianzas definidas en 7.4.4 y 7.4.5 son calculadas de la siguiente manera, utilizando el nivel 1 como ejemplo.

Número de laboratorios, $p = 8$

$$T_1 = \sum n\bar{y}_i = 18,642$$

$$T_2 = \sum n_i(\bar{y}_i)^2 = 12,883\ 7$$

$$T_3 = \sum n_i = 27$$

$$T_4 = \sum n_i^2 = 95$$

$$T_5 = \sum (n_i - 1)s_i^2 = 0,004\ 411$$

$$s_i^2 = \frac{T_5}{T_3 - p} = 0,000\ 232\ 2$$

$$s_L^2 = \left[\frac{T_2 T_3 - T_1^2}{T_3(p-1)} - s_i^2 \right] \left[\frac{T_3(p-1)}{T_3^2 - T_4} \right] = 0,000\ 460\ 3$$

$$s_r^2 = s_L^2 + s_i^2 = 0,000\ 629\ 5$$

$$\hat{m} = \frac{T}{T_1} = 0,690\ 44$$

$$s_r = 0,015\ 24$$

$$s_s = 0,026\ 32$$

Los cálculos para los niveles 2, 3 y 4 pueden hacerse de manera similar para dar los resultados mostrados en la tabla B.5.

B.1.7 Dependencia de la precisión respecto a m

Un examen de los datos de la tabla B.5 no muestra ninguna dependencia y pueden utilizarse valores promedio.

B.1.8 Conclusiones

La precisión del método de medición debe ser mencionada, como un porcentaje por masa, de la siguiente manera:

desviación estándar de repetibilidad, $s_r = 0,022$
desviación estándar de reproducibilidad, $s_s = 0,045$

TABLA B.4 - Aplicación de la prueba de Grubbs a las medias de celda

Nivel	Simple	Simple	Doble	Doble	Tipo de prueba
	Bajo	Alto	Bajo	alto	
1	1,24	1,80	0,539	0,298	Estadística de la prueba de Grubbs
2	0,91	2,09	0,699	0,108	
3	1,67	1,58	0,378	0,459	
4	0,94	2,09	0,679	0,132	
Rezagados	2,126	2,126	0,110 1	0,110 1	Valores críticos de Grubbs
Valores atípicos	2,274	2,274	0,056 3	0,056 3	

ANEXO K: CÁLCULO DE LOS VALORES DE COCHRAN

necesario. La otra prueba (de Grubbs) es básicamente una prueba de variabilidad entre laboratorios, y también puede ser utilizada (si $n > 2$) cuando la prueba de Cochran ha levantado sospechas con respecto a si la alta variación dentro del laboratorio es atribuible sólo a uno de los resultados de ensayo de la celda.

7.3.3 Prueba de Cochran

7.3.3.1 Esta parte de la NTP-ISO 5725 asume que, entre los laboratorios, sólo existe pequeñas diferencias en las varianzas dentro del laboratorio. Sin embargo, la experiencia demuestra que éste no siempre es el caso, de tal manera que aquí no se ha incluido una prueba para determinar la validez de este supuesto. Podrían utilizarse varias pruebas para este propósito, pero se ha elegido la prueba de Cochran.

7.3.3.2 Dado un conjunto de p desviaciones estándar s_i , todas calculadas a partir del mismo número (n) de resultados replicados, la estadística de la prueba de Cochran, C , es

$$C = \frac{s_{\max}^2}{\sum_{i=1}^p s_i^2} \quad (8)$$

donde s_{\max} es la desviación estándar máxima en el grupo.

- Si la estadística de la prueba es menor o igual a su valor crítico de 5%, el ítem probado es aceptado como correcto.
- Si la estadística de la prueba es mayor que su valor crítico de 5% y menor o igual a su valor crítico de 1 %, al ítem probado se le llama rezagado y es indicado por un solo asterisco.
- Si la estadística de la prueba es mayor que su valor crítico de 1 %, al ítem probado se le llama valor estadístico atípico y es indicado por dos asteriscos.

En 8.1 (tabla 4), se proporcionan valores críticos para la prueba de Cochran.

ANEXO L: CÁLCULO DE LA VERACIDAD DEL MÉTODO

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP-ISO 5725-4
7 de 41

Para que los resultados de un experimento permitan detectar con una alta probabilidad (véase anexo C) una magnitud predeterminada de sesgo, el número mínimo de laboratorios, p , y de resultados de ensayo, n , debe cumplir la siguiente ecuación:

$$A\sigma_r \leq \frac{\delta_m}{1,84} \quad (5)$$

donde

δ_m es la magnitud predeterminada de sesgo que el experimentador desea detectar a partir de los resultados del experimento;

σ_r es la desviación estándar de reproducibilidad del método de medición.

A es una función de p y n y está determinada por

$$A = 1,96 \sqrt{\frac{n(\gamma^2 - 1) + 1}{\gamma^2 pn}} \quad (6)$$

donde

$$\gamma = \sigma_r / \sigma_r \quad (7)$$

En la tabla 1 se da los valores de A .

En términos ideales, la elección de la combinación del número de laboratorios y el número de réplicas de resultados de ensayo por laboratorio debería cumplir el requisito descrito mediante la ecuación (5) con el valor de δ_m predeterminado por el experimentador. Sin embargo, por razones prácticas, la elección del número de laboratorios es generalmente un compromiso entre la disponibilidad de recursos y el deseo de reducir el valor de δ_m a un nivel satisfactorio. Si la reproducibilidad del método de medición es mala, entonces no será práctico lograr un alto grado de certidumbre en el estimado del sesgo. Cuando σ_r es mayor que σ_r (es decir, γ es mayor que 1) como a menudo es el caso, poco se puede lograr obteniendo más de $n = 2$ resultados de ensayo por cada laboratorio en cada nivel.

Si el valor absoluto del sesgo estimado es menor o igual a la mitad de la amplitud del intervalo de incertidumbre, definida en la Guía ISO 35, no existe evidencia de un sesgo. La variación del estimado del sesgo del método de medición se debe a la variación en los resultados del proceso de medición y es expresada mediante su desviación estándar calculada de la siguiente manera:

- En el caso de valores de precisión conocidos

$$\sigma_{\hat{\delta}} = \sqrt{\frac{\sigma_R^2 - (1 - 1/n) \sigma_r^2}{p}} \quad (16)$$

- En el caso de valores de precisión desconocidos.

$$s_{\hat{\delta}} = \sqrt{\frac{s_R^2 - (1 - 1/n) s_r^2}{p}} \quad (17)$$

Se puede calcular un intervalo de confianza aproximado de 95% para el sesgo del método de medición de la siguiente manera:

$$\hat{\delta} - A\sigma_R \leq \delta \leq \hat{\delta} + A\sigma_R \quad (18)$$

donde A es lo expresado en la ecuación (6). Si σ_R es desconocida, se debe utilizar su estimado s_R , y se debe calcular A con $\gamma = s_R / s_r$.

Si este intervalo de confianza contiene el valor cero, el sesgo del método de medición no es significativo con un nivel de significancia $\alpha = 5\%$; de lo contrario, es significativo.

ANEXO M: GLOSARIOS DE LOS SIMBOLOS

- n Número de Resultados del ensayo obtenidos por un analista y en un nivel
- p Número de analistas participantes en el experimento
- q Número de niveles de la propiedad del ensayo en el experimento
- MR_i Dispersión de las Unidades individuales
- s Estimado de una desviación estándar
- \bar{x} Estimación Puntual de la media
- UCL Límite de Control Superior
- LCL Límite de Control Inferior
- d2 Factor para construir cartas de control de mediciones individuales
- \overline{MR} Promedio de la dispersión de las mediciones individuales
- C Constante de Cochran
- s_r^2 Varianza de la Repetibilidad
- s_R^2 Varianza de la Reproducibilidad
- s_L^2 Varianza del los Operadores
- $\hat{\delta}$ Sesgo de las mediciones
- $\bar{\bar{y}}$ Promedio General de los datos por nivel
- α Nivel de Significancia
- $u_{(xi)}$ Incertidumbre Estándar
- u Incertidumbre Combinada
- U Incertidumbre Expandida
- c_4 Constante Estadístico para Calcular la Desviación Estándar de la Población