

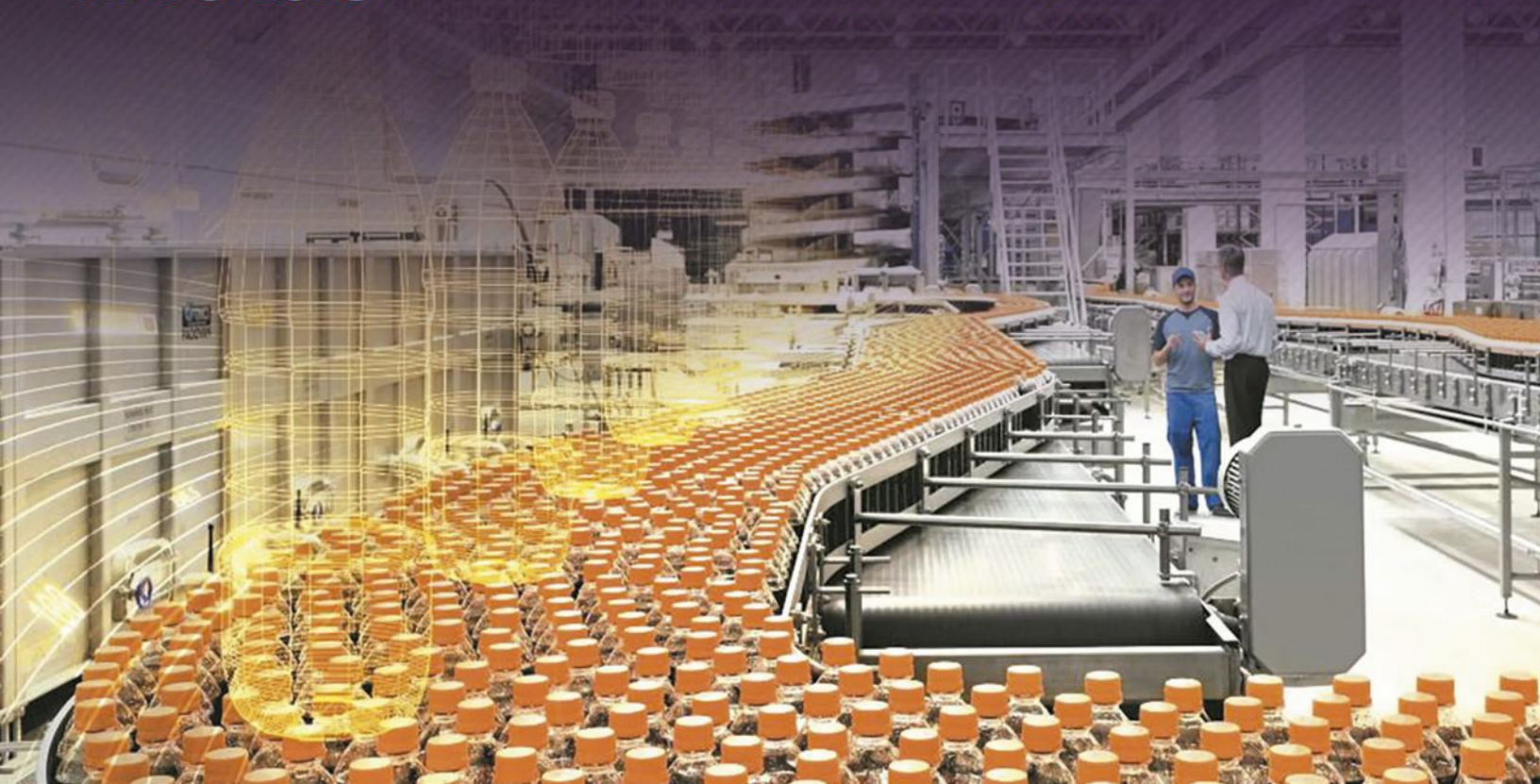


UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



# REVISTA INDUSTRIAL 4.0

EDICIÓN DIGITAL Nro. 6  
ISSN-L 2958-0188  
MAYO 2023





Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería Industrial

M.Sc. Oscar Arnaldo Heredia Vargas  
Dra. María Eugenia García Moreno  
Ing. Alejandro Martín Mayori Machicao  
Ing. Freddy Gutierrez Barea  
Ing. Franz José Zenteno Benítez

Rector  
Vicerrector  
Decano Facultad de Ingeniería  
ViceDecano Facultad de Ingeniería  
Director de Carrera Ingeniería Industrial

Revista Industrial 4.0  
Edición Impresa N°. 6 - Mayo 2023  
Impresa: ISSN 2958-017X  
En Línea: ISSN-L 2958-0188

Comite Editor:  
Ing. Mónica Lino Humerez  
Ing. Grover Sanchez Eid  
Ing. Mario Zenteno Benitez PhD

Diseño Versión Impresa & web:  
Ing. Enrique Orosco Crespo

Imagen Tapa:  
[webinars.sw.siemens.com/es-ES](http://webinars.sw.siemens.com/es-ES)

Imprenta:  
Walking Graf

Deposito Legal:  
4-3-68-20

Web:  
<https://industrial.umsa.bo/revistaindustrial-40>  
Email:  
[revistaindustrial4.0@umsa.bo](mailto:revistaindustrial4.0@umsa.bo)

Av. Mcal. Santa Cruz N° 1175, Plaza del Obelisco  
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería  
TEL. 2205000-2205067, Int. 1402  
Campus Universitario, Cota Cota - calle 30





## PRESENTACIÓN

La publicación impresa y digital del N° 6 de la Revista, coincide con el semestre donde la Carrera de Ingeniería Industrial conmemora los 84 años de su creación, durante todos estos años con la guía, experiencia, solvencia académica de destacados profesores ingenieros, se formaron generaciones de exitosos profesionales que aportaron con su liderazgo en la transformación industrial, generación de fuentes de trabajo y progreso del país.

Debemos hacer un reconocimiento especial a uno de los docentes que tuvo la carrera durante muchas décadas, el Ingeniero Industrial Narciso Cardozo Rodríguez, quién administró la cátedra de procesos industriales y fue transmitiendo toda su sapiencia sobre la metalurgia en Bolivia. El Ing. Cardozo desde la década de los cincuenta del siglo pasado trabajó incansablemente en investigación y en la elaboración e implementación de proyectos para la industrialización de las materias primas en el país.



**Ing. MBA. Franz José Zenteno Benítez**  
**DIRECTOR**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Desde Ingeniería Industrial de la Universidad Mayor de San Andrés, a través de sus tres institutos de investigación, sus unidades de posgrado y el pre grado en La Paz y sus programas desconcentrados de San Buenaventura y Caranavi, existe un compromiso con el Departamento de La Paz y toda Bolivia para llevar adelante trabajos de investigación en diferentes áreas de su formación académica,

Como resultado de investigaciones, en el presente número de la Revista Industrial 4.0, se podrá encontrar trabajos desarrollados por prestigiosos profesionales quienes vienen investigando sobre el control de calidad, gestión de costos, recuperación de litio, industria del cemento, seguridad industrial y texturización de alimentos.

Un agradecimiento especial a los profesionales que conforman el Comité Editor, que destinan un tiempo valioso, en la revisión del material que es enviando por los investigadores para su consideración en la publicación regular que tiene la presente revista.

Asimismo, no podemos olvidar el apoyo de la Unidad de Sistemas y del personal administrativo de la Carrera de Ingeniería Industrial, que con su trabajo contribuyen a que los números de la revista no sean interrumpidos.

*Ing. MBA. Franz José Zenteno Benítez*  
**DIRECTOR**  
**INGENIERÍA INDUSTRIAL**

## CONTROL DE CALIDAD BASADO EN EL ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

**Oswaldo Fernando Terán Modregón**

ORCID: 0000-0003-0965-8434

[ofteran@umsa.bo](mailto:ofteran@umsa.bo)

Recibido: 7 de abril; aprobado: 15 de mayo

### RESUMEN.

La calidad de los datos en las mediciones está relacionada con las propiedades estadísticas de estas, obtenidas a partir de los sistemas de medición. La importancia que tiene el Análisis del Sistema de Medición en los procesos de fabricación/producción se constituyen en vitales, este proyecto de investigación se realiza de manera detallada aplicando el Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad utilizando uno de los métodos más empleados, como es Media y Rango para el Aseguramiento de la Calidad de los procesos de medición de calibres, que se utilizan para la comprobación de las características dimensionales constructivas; tomando una muestra de un producto específico en el laboratorio de Control Estadístico de la Calidad de la carrera de Ingeniería Industrial. Los resultados muestran que con base en un estudio involucrando 3 operadores, cada uno midiendo 10 partes o productos 3 veces el mismo, la desviación estándar estimada del proceso de medición es igual a 0,0923. De la varianza total: 1,69% es debida a diferencias entre operadores es decir Reproducibilidad, en tanto que 98,31% es debida al instrumento o Repetibilidad. Comparando la variabilidad del proceso de medición con la variabilidad total en Medidas, el proceso de medición contribuye en 0,82%, con el resto 99,18%, es atribuible a las diferencias entre partes.

### PALABRAS CLAVES

Sistema de medición, Metrología, Repetibilidad, Reproducibilidad, GR&R.

## ABSTRACT.

*The quality of the data in the measurements is related to the statistical properties of these, obtained from the measurement systems. The importance of the Analysis of the Measurement System in the manufacturing / production processes are vital, this research project is carried out in detail applying the Repeatability and Reproducibility Study using one of the most used methods, such as Average and Range for Quality Assurance of gauge measurement processes, which are used to verify construction dimensional characteristics; taking a sample of a specific product in the Statistical Quality Control laboratory of the Industrial Engineering degree. The results show that based on a study involving 3 operators, each one measuring 10 parts or products 3 times the same, the estimated standard deviation of the measurement process is equal to 0.0923. Of the total variance: 1.69% is due to differences between operators, that is, Reproducibility, while 98.31% is due to the instrument or Repeatability. Comparing the variability of the measurement process with the total variability in Measurements, the measurement process contributes 0.82%, with the rest 99.18%, attributable to differences between parts.*

## KEYWORDS

Measurement system, Metrology, Repeatability, Reproducibility, GR&R.

## 1. INTRODUCCIÓN.

La finalidad del Análisis de los Sistemas de Medida es establecer los procedimientos para valorar la calidad de los sistemas de medición.

La calidad de los datos de medición está relacionada con las propiedades estadísticas de mediciones múltiples obtenidas a partir de un sistema de medición que opere bajo condiciones estables.

Las propiedades estadísticas más comúnmente usadas para caracterizar la calidad de los datos son el sesgo y la varianza. La propiedad llamada sesgo se refiere a la localización de los datos con respecto al valor de referencia, y la variable llamada

varianza se refiere a la dispersión de los datos. Existen otras propiedades como el ratio de rechazo que pueden ser apropiadas en algunos casos.

Una de las razones más comunes de la baja calidad de los datos es la variación excesiva de dichos datos. Muchas veces la variación de un conjunto de mediciones se debe a la interacción entre el sistema de medición y su entorno. Si esta interacción genera demasiada variación, la calidad de los datos puede ser tan baja que no sean útiles.

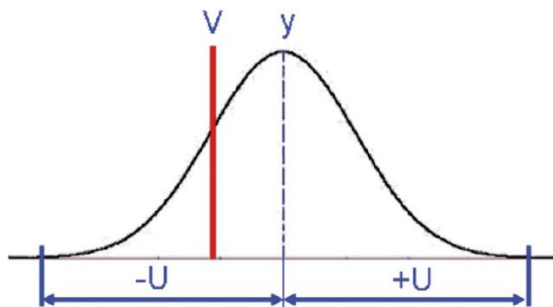
El término medición se define “como la asignación de números a cosas materiales para representar la relación entre ellos con respecto a propiedades particulares”. Esta definición fue dada por primera vez por Churchill Eisenhart (1963). El proceso de asignar los números es definido como el proceso de medición, y el valor asignado como valor de la medición (Automotive Industry Action Group (AIAG), 2010, p.4). La medición es el “proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud” (Centro Español de Metrología (CEM), CENAM, & INDECOPI, 2008).

El resultado de medida es el “conjunto de valores de una magnitud atribuidos a un mensurando, acompañados de cualquier otra información relevante disponible” (Centro Español de Metrología (CEM) et al., 2008). Un resultado de medida contiene generalmente información relevante sobre el conjunto de valores de una magnitud. Algunos de ellos representan el mensurando mejor que otros. Esto puede representarse como una función de densidad de probabilidad (FDP). El resultado de una medición se expresa generalmente como un valor medido único y una incertidumbre de medida. Si la incertidumbre de medida se considera despreciable para un determinado fin, el resultado de medida puede expresarse como un único valor medido de la magnitud. En muchos campos esta es la forma habitual de expresar el resultado de medida.

De estas definiciones, se tiene que un proceso de medición debe ser visto como un proceso de fabricación que produce números o datos como resultado. Esta visión del sistema de medición es útil pues permite englobar todos los conceptos, filosofía, y herramientas que han demostrado utilidad en el área de Control Estadístico de Procesos CEP.

La incertidumbre de medida representa la “dispersión que tienen los valores atribuidos a un mensurando. Se puede expresar como una desviación típica, entonces se designa incertidumbre típica ( $u$ ) o como un intervalo de cobertura alrededor del valor medido, entonces se designa como incertidumbre expandida ( $U$ )” (Técnicas de Control Metrológico, 2010b, p.10).

Figura No. 1. Incertidumbre de medida



Fuente:(Técnicas de Control Metrológico, 2010c)

Las causas de la incertidumbre de medidas son:

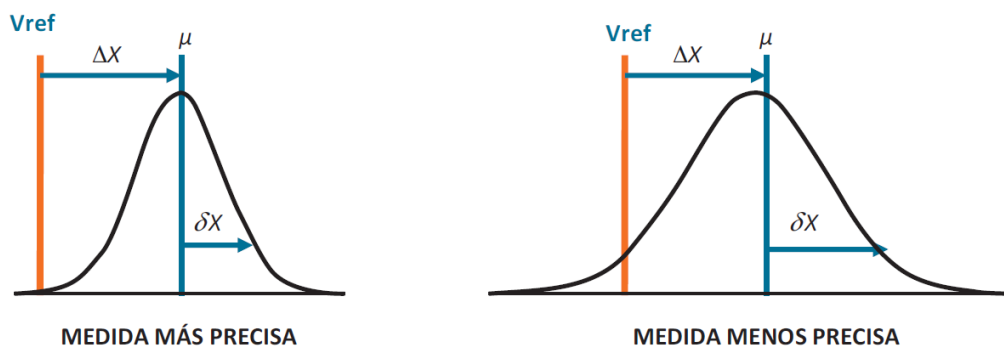
- Falta de repetibilidad de los valores observados
- Efecto de la resolución finita del equipo de medida
- Medición imperfecta del error de indicación del equipo de medida en su calibración.
- Definición incompleta del mensurando
- Muestra no representativa del mensurando
- Valores inexactos de patrones o materiales de referencia
- Conocimiento o medición imperfecta de las magnitudes de influencia

La veracidad de medida es la “proximidad entre la media de un número infinito de valores medidos repetidos y un valor de referencia” (Comité Conjunto de Guías en Metrología, 2012, p.31). La veracidad de medida no es una magnitud y no puede expresarse numéricamente, aunque la norma ISO 5725 especifica formas de expresar dicha proximidad.

La exactitud de una medida “es un modo cualitativo de expresar la calidad de una medida teniendo en cuenta el error de medida, con sus dos componentes, sistemático y aleatorio” (Comité Conjunto de Guías en Metrología, 2012, p.31). El resultado de una medición se considera más exacto cuanto menor es el error, o lo que es lo mismo, cuanto más veraz y más precisa es en conjunto. Para determinar la exactitud se requiere una evaluación del sesgo y de la precisión de la medida.

La precisión de medida es “la proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas” (Comité Conjunto de Guías en Metrología, 2012, p.31).

Figura No. 2. Precisión de medida



Fuente: (Técnicas de Control Metrológico, 2010b, p.14)

Los términos “precisión” e “incertidumbre” expresan la dispersión de un conjunto de valores atribuibles a un mensurando, la diferencia está en el modo en que han sido obtenidas (Técnicas de Control Metrológico, 2010b, p.15). La precisión se obtiene experimentalmente su valor depende de las condiciones en las que es evaluada, la menor precisión de una medida es la obtenida en condiciones de repetibilidad (VIM 2.20) y la mayor la obtenida en condiciones de reproducibilidad (VIM 2.23). La incertidumbre de medida se obtiene a través de la función de medición, pudiendo estar afectada de contribuciones obtenidas de modo experimental (tipo A) y/o no experimental (tipo B). Cuando las contribuciones tipo B no son significativas, la incertidumbre de medida puede obtenerse a partir de la precisión.



El Sistema de medida es el “conjunto de uno o más instrumentos de medida y, frecuentemente, otros dispositivos, incluyendo reactivos e insumos varios, ensamblados y adaptados para proporcionar valores medidos dentro de intervalos especificados, para magnitudes de naturalezas dadas” (Comité Conjunto de Guías en Metrología, 2012, p.43) Un sistema de medida puede estar formado por un único instrumento de medida. En el manual MSA, se tiene que el sistema de medida es el conjunto de operaciones, procedimientos, calibres y otros equipos, software, y personal, usados para asignar un número a la característica que se está midiendo; el proceso completo usado para obtener mediciones (Automotive Industry Action Group (AIAG), 2010, p.14).

Un sistema de medición ideal debería producir solo mediciones “correctas” cada vez que se usara. Cada medición debería siempre coincidir con la medida patrón. Un sistema de medición de tales características se dice que tiene propiedades estadísticas de cero varianza, cero sesgos y, cero probabilidades de rechazar cualquier producto medido. Desafortunadamente, tales sistemas rara vez existen, y por tanto los directores de procesos deben usar sistemas de medición con propiedades estadísticas menos deseables.

La calidad de un sistema de medición generalmente se determina únicamente por las propiedades estadísticas de los datos que genera. Otras propiedades, tales como el coste, facilidad de uso. etc., son también importantes pues contribuyen a determinar cuál es el sistema deseable.

Fuentes de variación en un proceso de medida, al igual que todos los procesos, los sistemas de medida están influidos por fuentes de variación sistemática y aleatoria. Las fuentes de variación son debidas a causas comunes y especiales. Para controlar el proceso de medición es necesario:

- 1) Identificar las fuentes potenciales de variación
- 2) Eliminar (siempre que sea posible) o monitorizar estas fuentes de variación. Aunque las causas específicas dependerán de cada situación, pueden ser identificadas algunas fuentes típicas de variación. Existen distintos métodos de presentar y clasificar estas

fuentes de variación, tales como los diagramas causa-efecto y otros. Los elementos más importantes de un proceso de medida son: Patrón, Pieza, Instrumento, Persona, Procedimiento y Entorno. Deben ser entendidos los factores que afectan a estos elementos para poder controlarlos o eliminarlos.

A menudo se asume que las mediciones son exactas, y frecuentemente el análisis y las conclusiones se basan en ese supuesto. Un individuo puede fallar al darse cuenta de que existe variación en el sistema de medición, lo que afecta a las mediciones individuales y como consecuencia, a las decisiones basadas en los datos. El error del sistema puede ser clasificado en cinco categorías: sesgo, repetibilidad, reproducibilidad, estabilidad y linealidad.

## **2. DESARROLLO.**

Uno de los objetivos del estudio del sistema de medición es obtener información sobre la cantidad y tipos de variación de medición asociada con el sistema de medición cuando interacciona con su entorno. En nuestro caso, se desea medir la variación total del proceso y determinar la incidencia del operador e instrumento en los resultados de las mediciones.

Esta información es valorable, puesto que para la media de los procesos de producción, es más práctico conocer la repetibilidad y sesgo de calibración y establecer unos límites razonables para ellos, que conseguir equipos de exactitud extrema con muy alta repetibilidad.

Las aplicaciones de tal estudio proporcionan:

1. Un criterio para aceptar un nuevo equipo de medición.
2. Una comparación de un aparato de medida con otro.
3. Una base para evaluar un equipo de medida del que se sospecha es deficiente
4. Una comparación en los equipos de medida antes y después de repararlos.



5. Un componente necesario para calcular la variación del proceso y el nivel de aceptación para un proceso de producción.
6. Información necesaria para realizar la curva característica del equipo de medida, que indica la probabilidad de aceptar una pieza de valores buenos.

En el diseño metodológico se han considerado los siguientes aspectos: el paradigma positivista, denominada también paradigma cuantitativo, desde el punto de vista cuantitativo, es un proceso sistemático y ordenado, con un diseño del estudio descriptivo-explicativo.

Para implementar el Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad se tomó de forma aleatoria una muestra de 10 calibres, los cuales fueron medidos tres veces por tres operadores, seleccionando dos parámetros de calidad que son: Diámetro externo y altura. Las mediciones se realizaron en el laboratorio de Control Estadístico de Calidad de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Mayor de San Andrés con las siguientes características metrológicas.

Cuadro No. 1. *Características técnicas de los instrumentos*

Parámetros	Gramil	Calibrador
Capacidad de medición (mm)	300	150
Resolución (mm)	0,01	0,01
Exactitud (mm)	± 0,04	± 0,02

Fuente: <http://www.insize.com>

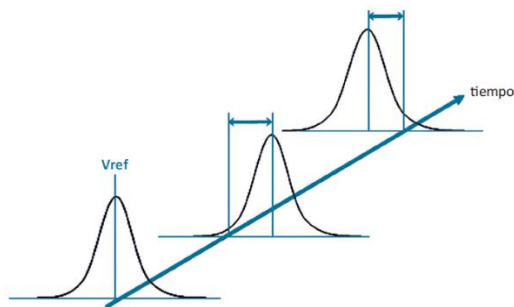
En general se utiliza el término “dispositivos de medida” para hacer referencia a cualquier instrumento de medida, frecuentemente se usa para referirse a los aparatos empleados en planta, incluyendo las medidas materializadas como los calibres pasa-no pasa.

Las mediciones se llevaron a cabo a una temperatura de 20 °C y humedad relativa de 65,18%.

El método a emplear para llevar a cabo el estudio es el de promedio y rango. Este método permite descomponer la variabilidad del sistema en dos componentes independientes: la repetibilidad y la reproducibilidad.

Para poder determinar la repetibilidad y reproducibilidad primero se debe entender el concepto de “Estabilidad” que es la variación total de las medidas obtenidas con un sistema de medición sobre el mismo patrón o piezas cuando e mide la misma característica a lo largo de un periodo de tiempo.

Figura No. 3. Estabilidad del proceso



Fuente: Tomada de (Técnicas de Control Metrológico, 2010b)

Los valores obtenidos de los parámetros de calidad Diámetro externo y altura, de una muestra de 10 productos de vidrio (vasos), fueron medidos tres veces por tres operadores, se observan en el Anexo 1, cuadro No. 6.

Los formatos de hoja y reporte de recolección de datos de la Repetibilidad y Reproducibilidad de gages, ofrecen un método para el análisis numérico de los datos de un estudio establecidos en el manual del MSA. El análisis estima la variación y porcentaje de la variación del proceso para el sistema de medición total, y sus componentes de repetibilidad, reproducibilidad y variación de la parte.

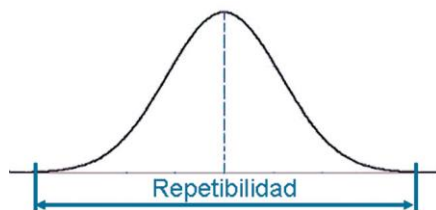


### 3. PROPUESTA.

Independientemente de la técnica numérica empleada para cuantificar la variación del sistema de medición, todo análisis debe incluir el uso de técnicas gráficas. Las herramientas estadísticas que son más eficientes para analizar un sistema de medición específico, dependen de cuales sean las fuentes esperadas de la variación. Hay, sin embargo, una serie de técnicas que pueden ser útiles en el análisis de un amplio rango de sistemas de medición.

Para el caso de la Repetibilidad se entiende que “es la variación en las mediciones obtenidas con un instrumento de medición cuando es usado varias veces por un inspector para medir la misma característica de la misma pieza” (Automotive Industry Action Group (AIAG), 2010)

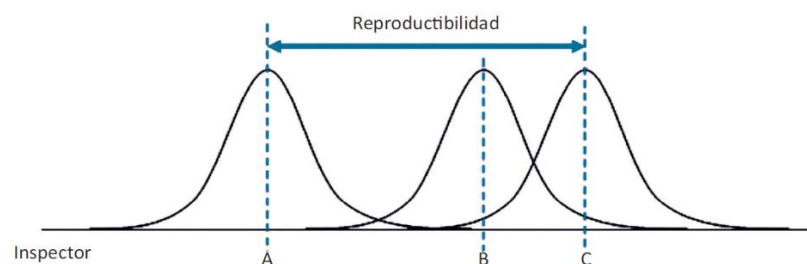
Figura No. 4. Repetibilidad



Fuente: Tomada de (Técnicas de Control Metrológico, 2010a)

Para la Reproducibilidad se entiende que “es la variación en la media de las mediciones realizadas por diferentes inspectores usando el mismo equipo de medición y midiendo la misma característica de la misma pieza” (Automotive Industry Action Group (AIAG), 2010)

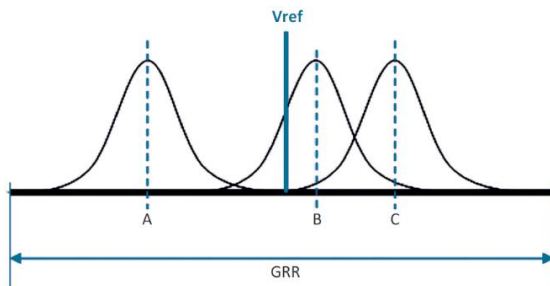
Figura No. 5. Reproducibilidad



Fuente: Tomada de (Técnicas de Control Metrológico, 2010a)

La Repetibilidad y Reproducibilidad “es la estimación combinada de la repetibilidad y reproducibilidad del sistema de medida” (Técnicas de Control Metrológico, 2010, p.38). Es una medida de la capacidad del sistema; dependiendo del método usado, puede incluir o no el efecto del tiempo.

Figura No. 6. Repetibilidad y reproducibilidad



Fuente: Tomada de (Técnicas de Control Metrológico, 2010a)

Evaluación de la Repetibilidad y la Reproducibilidad (GR&R o RR), o variación del equipo (EV o  $E_{\sigma}$ ) se determina multiplicando el promedio de los rangos (R) por una constante ( $K_1$ ).  $K_1$  depende del número de intentos aplicados en el estudio del gage y es igual al inverso de  $d_2$ , el cual se obtiene de tablas<sup>1</sup>.  $d_2$  depende del número de intentos (m) y el número de partes por el número de evaluadores (g) (se asume que es mayor que 15 al calcular el valor de  $K_1$ ).

La reproducibilidad o variación de los evaluadores (AV o  $\sigma_A$ ) se determina multiplicando la máxima diferencia promedio entre los evaluadores ( $\bar{X}_{DIFF}$ ) por una constante ( $K_2$ ).  $K_2$  depende del número de evaluadores usados en el estudio del gage y es el inverso de  $d_2$  el cual se obtiene de la tabla.  $d_2$  depende del número de evaluadores (m) y  $g=1$ , dado que solo existe el cálculo de un rango. Dado que la variación del evaluador es contaminada por la variación del equipo, debe ajustarse restando una fracción de la variación del equipo. Por tanto, la variación de los evaluadores (AV) es calculada por:

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - \frac{(EV)^2}{nr}}$$

<sup>1</sup> Tabla Factores útiles en la construcción de los diagramas de control. (Duncan, 1989)



Donde n = número de partes y r = número de intentos.

Si se calcula un valor negativo bajo el símbolo de la raíz cuadrada, la variación de los evaluadores (AV) es cero por default.

La variación del sistema de medición para repetibilidad y reproducibilidad (RRG o  $\sigma_M$ ) se calcula sumando el cuadrado de la variación del equipo y el cuadrado de la variación de los evaluadores, y sacando la raíz cuadrada como sigue:

$$RRG = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$$

#### 4. ANALISIS DE RESULTADOS.

Para el Estudio R&R utilizando el Método de Media y Rango - Medidas o Ensayos para 3 operadores, 10 partes o productos y 3 ensayos o mediciones, de los datos de diámetro externo se tienen los siguientes resultados:

Cuadro No. 2. Reporte de Repetibilidad y Reproducibilidad de Calibrador

<b>Medición Unidad</b>	<b>Sigma Estimada</b>	<b>Porcentaje Variación Total</b>	<b>Varianza Estimada</b>	<b>Porcentaje de Contribución</b>	<b>Porcentaje de R&amp;R</b>
Repetibilidad	0,0915	8,9624	0,0084	0,8032	98,31
Reproducibilidad	0,0120	1,1756	0,0001	0,0138	1,69
R & R	0,0923	9,0392	0,0085	0,8171	100,00
Partes	1,0171	99,5906	1,0344	99,1829	
Variación Total	1,0212	100.0	1,0430		

Fuente: Elaboración propia en base al Software Statgraphics XV (R & Calibrador, 2006)

Del cuadro anterior, con base en un estudio involucrando 3 operadores, cada uno midiendo 10 partes 3 veces, la desviación estándar estimada del proceso de medición es igual a 0,0923. Incluyendo partes, la variación total (VT) es igual a 1,0212. Además,

debe asegurarse de que el porcentaje de variación total debido a R&R sea relativamente pequeño. En este caso, el valor es igual a 9,0392%. Las reglas del pulgar generales clasifican un sistema de medición como aceptable si el porcentaje de variación total de R&R es menor que 10%, aunque hasta 30% puede ser aceptable para algunas situaciones. Para nuestro caso es menor a 10% por lo que calificamos al sistema de medición como aceptable.

El número de categorías distintas (ndc) que pueden ser distinguidas confiablemente por el sistema de medición analizado en este estudio es igual a 15. Normalmente, este número debería ser, al menos 5, por lo que el sistema de medición es confiable.

De la varianza total VT con un valor de 1,69% es debida a diferencias entre operadores (Reproducibilidad) en tanto que 98,31% es debida al instrumento (Repetibilidad). Se puede utilizar este desglose para ayudar a determinar si el sistema de medición pudiera necesitar alguna mejora, como una calibración.

Realizando un Análisis de Tolerancia para 3 operadores, 10 partes y 3 ensayos, con una Tolerancia = 10,0 se tienen los siguientes resultados:

Cuadro No. 3. Repetibilidad y Reproducibilidad

<b>Medición Unidad</b>	<b>6,0 Desviación Estándar</b>	<b>Porcentaje de Tolerancia</b>
Repetibilidad	0,5492	5,4918
Reproducibilidad	0,0720	0,7204
R & R	0,5539	5,5388
Partes	6,1025	61,0244

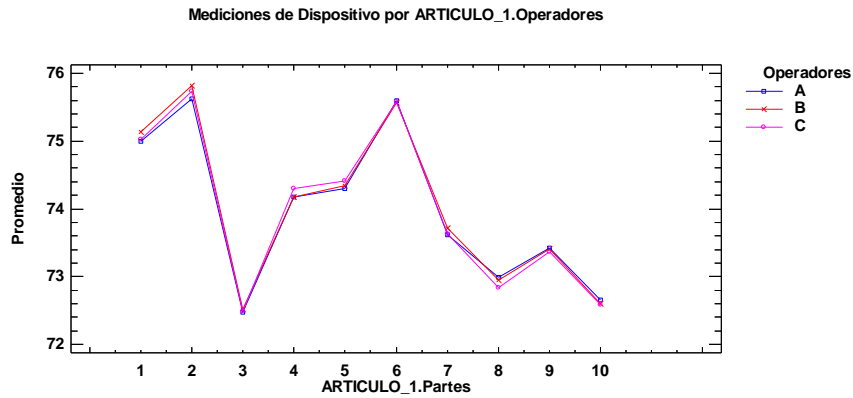
Fuente: Elaboración propia en Statgraphics XV (Diseños, Factores, & Diseño, 2006)

Dada una tolerancia o especificación de 10,0 unidades de ancho (+/-5,0), puede esperarse que la variabilidad proveniente del proceso de medición cubra el 5,54% de ese rango. Las reglas del pulgar generales clasifican un sistema de medición como aceptable



si el porcentaje de variación total de R&R es menor que 10%, aunque hasta 30% puede ser aceptable para algunas situaciones. Por lo que el proceso es aceptable.

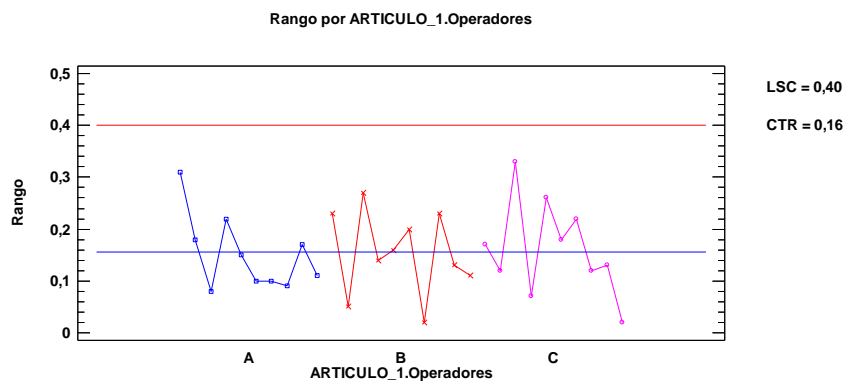
Figura No. 7



Fuente: Elaboración propia en Statgraphics XV (R & Calibrador, 2006)

En la figura No. 7 se observan el comportamiento de los datos de los operadores A, B y C en forma comparativa. Y en la figura No. 8 se observa que los recorridos de cada operador no supera el límite superior por lo que el proceso está bajo control estadístico.

Figura No. 8



Fuente: Elaboración propia en Statgraphics XV (Diseños et al., 2006)

Para el Estudio R&R utilizando el Método de Media y Rango - Medidas o Ensayos para 3 operadores, 10 partes o productos y 3 ensayos o mediciones, para el parámetro de altura se tienen los siguientes resultados:

Cuadro No. 4. *Reporte de Repetibilidad y Reproducibilidad de Calibrador*

<b>Medición Unidad</b>	<b>Sigma Estimada</b>	<b>Porcentaje Variación Total</b>	<b>Varianza Estimada</b>	<b>Porcentaje de Contribución</b>	<b>Porcentaje de R&amp;R</b>
Repetibilidad	0,0927	9,0767	0,0086	0,8239	98,35
Reproducibilidad	0,0120	1,1754	0,0001	0,0138	1,65
R & R	0,0935	9,1524	0,0087	0,8377	100,00
Partes	1,0170	99,5803	1,0344	99,1623	
Variación Total	1,0214	100.0	1,0432		

Fuente: Elaboración propia con software Statgraphics XV (R & Calibrador, 2006)

Del cuadro anterior, con base en un estudio involucrando 3 operadores A, B y C, cada uno midiendo 10 partes o productos 3 veces, la desviación estándar estimada del proceso de medición es igual a 0,0935. Incluyendo partes, la variación total (VT) es igual a 1,0214. Debe asegurarse de que el porcentaje de variación total debido a R&R sea relativamente pequeño. En este caso, el valor es igual a 9,15%. Las reglas del pulgar generales clasifican un sistema de medición como aceptable si el porcentaje de variación total de R&R es menor que 10%, aunque hasta 30% puede ser aceptable para algunas situaciones. Por lo que se demuestra que el sistema de medición es aceptable.

De la varianza total, 1,65% es debida a diferencias entre operadores (Reproducibilidad) en tanto que 98,35% es debida al instrumento de medición (Repetibilidad). Se puede utilizar este desglose para ayudar a determinar si el sistema de medición pudiera necesitar alguna mejora. En este caso podría ser la calibración.

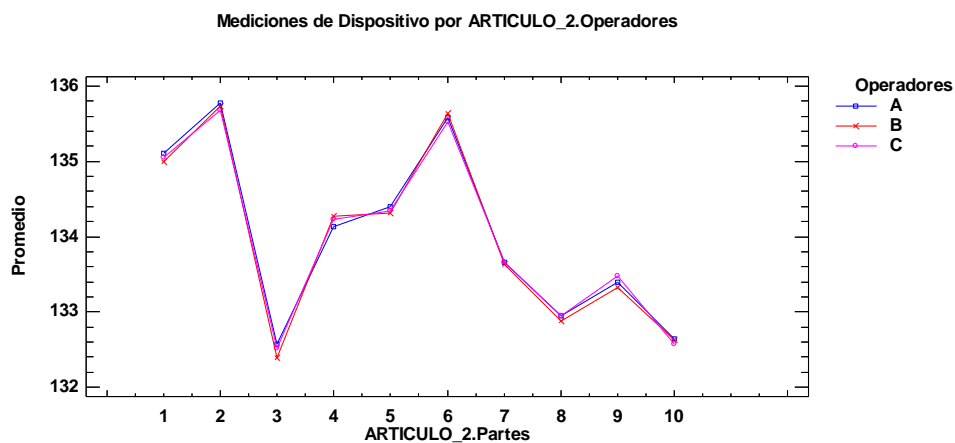
Cuadro No. 5. Análisis de Tolerancia

<b>Medición Unidad</b>	<b>6,0 Desviación Estándar</b>	<b>Porcentaje de Tolerancia</b>
Repetibilidad	0,5562	5,5623
Reproducibilidad	0,0720	0,7203
R & R	0,5609	5,6088
partes	6,1024	61,0244

Fuente: Elaboración propia en Statgraphics XV (Diseños et al., 2006)

Dada una tolerancia o especificación de 10,0 unidades de ancho (+/-5,0), puede esperarse que la variabilidad proveniente del proceso de medición cubra el 5,61% de ese rango. Las reglas del pulgar generales clasifican un sistema de medición como aceptable si el porcentaje de variación total de R&R es menor que 10%, por lo que el sistema de medición es calificado como aceptable.

Figura No. 9

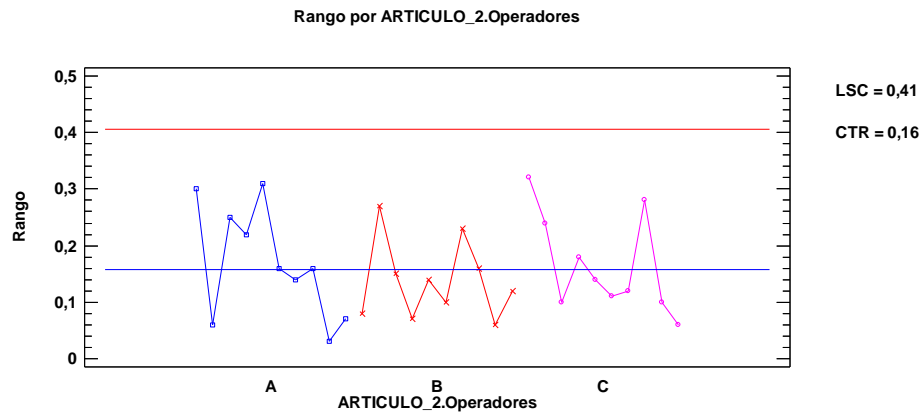


Fuente: Elaboración propia en Statgraphics XV (Diseños et al., 2006)



También se muestra un gráfico de rangos. Este gráfico muestra el rango de cada grupo de 3 mediciones hechas por 3 operadores en 10 partes. El límite superior se coloca a la distancia usual de 3 sigmas para el gráfico de rangos. En este caso, no hay grupos fuera del límite de control, lo que implica un nivel consistente de variabilidad entre los grupos.

Figura No. 10



Fuente: Elaboración propia en Statgraphics XV (Diseños et al., 2006)

Con base en un estudio involucrando 3 operadores A, B y C, cada uno midiendo 10 partes 3 veces, la desviación estándar estimada del proceso de medición es igual a 0,0923. De la varianza total, 1,69% es debida a diferencias entre operadores (Reproducibilidad) en tanto que 98,31% es debida al instrumento (Repetibilidad).

Comparando la variabilidad del proceso de medición con la variabilidad total en Medidas, el proceso de medición contribuye en 0,82%, con el resto 99,18%, es atribuible a las diferencias entre partes.

Dada una tolerancia o especificación de 10 unidades de ancho (+/-5), puede esperarse que la variabilidad proveniente del proceso de medición cubra el 5,54% de ese rango. Esto normalmente sería una precisión aceptable para un proceso de medición. Se puede esperar que la variabilidad total, tanto de las partes como del proceso de medición, cubra el 61,28% de la tolerancia.

## CONCLUSIONES.

Se ha alcanzado el objetivo del estudio del sistema de medición que es obtener información sobre la cantidad y tipos de variación de medición asociada con el sistema de medición. Además, se mide la variación total del proceso y determinar la incidencia del operador e instrumento en los resultados de las mediciones.

La Repetibilidad se entiende como la variación en las mediciones obtenidas con un instrumento de medición cuando es usado varias veces por un operador para medir la misma característica de la misma pieza, teniendo un valor de 1,67% en promedio que es debida a diferencias entre operadores.

La Reproducibilidad se entiende como la variación en la media de las mediciones realizadas por diferentes inspectores A, B y C, usando el mismo equipo de medición y midiendo la misma característica de la misma pieza, encontrando un valor de 98,33% en promedio que es debida al instrumento.

Como el porcentaje de variación total de R&R es menor a 10% calificamos al sistema de medición como aceptable.

El número de categorías distintas que pueden ser distinguidas confiablemente por el sistema de medición analizado en este estudio es igual a 15, este número debería ser, al menos 5, con lo que concluimos que el sistema de medición es confiable.

Finalmente, los recorridos de cada operador no supera el límite superior, por lo que el proceso está bajo control estadístico.

## BIBLIOGRAFIA.

- Automotive Industry Action Group (AIAG). (2010). *Análisis de sistemas de medición* (4a ed.; Chrysler Group, ed.). Recuperado de <https://www.aiag.org/store/publications/details?ProductCode=MSA-4>
- Carro Paz, R., & González Gomez, D. (2010). Control Estadístico De Procesos. En Universidad Nacional de Mar del Plata (Ed.), *Administración de las Operaciones AO* (1a ed.). Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496251108008>

- Centro Español de Metrología (CEM), CENAM, & INDECOPI. (2008). *Metrology - in short* (3a ed.; Proyecto EURAMET 1011, ed.). Madrid: EURAMET.
- Comité Conjunto de Guías en Metrología. (2012). Vocabulario Internacional de Metrología. En VIM (Ed.), *Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados* (3a ed.). <https://doi.org/10.1021/ja01341a021>
- Diseños, D., Factores, V., & Diseño, C. (2006). *Resumen Datos del Ejemplo : Creación del Diseño*. 1-8.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2013). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma* (3a ed.; Mc Graw Hill Interamericana Editores, ed.).
- Pérez López, C. (2017). *Control de Calidad a través de Statgraphics Centurion* (1a ed.). Middletown.
- R, E. S., & Calibrador, R. (2006). Resumen Datos del Ejemplo : Entrada de Datos. *Quality, 095*, 1-9.
- Técnicas de Control Metrológico. (2010a). *ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA. Análisis de la dispersión en los Sistemas de Medida* (4a ed.; Técnicas de Control Metrológico, ed.). Zaragoza: Técnicas de Control Metrológico.
- Técnicas de Control Metrológico. (2010b). *ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA. Análisis de la tendencia central de los Sistemas de Medida* (4a ed.; Técnicas de Control Metrológico, ed.). Zaragoza: Técnicas de Control Metrológico.
- Técnicas de Control Metrológico. (2010c). *ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA. Conceptos generales en el Análisis de los Sistemas de Medida* (4a ed.; Técnicas de Control Metrológico, ed.). Zaragoza: Técnicas de Control Metrológico.

## ANEXO 1

Cuadro No. 6

Evaluador/Intento	Parte										Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A 1	22,78	22,22	25,54	23,93	23,72	22,37	24,39	25,00	24,58	25,29	23,98
2	23,00	22,38	25,47	23,71	23,57	22,32	24,29	25,00	24,61	25,26	23,96
3	23,09	22,40	25,46	23,73	23,70	22,42	24,36	24,91	24,44	25,37	23,99
Promedio	22,96	22,33	25,49	23,79	23,66	22,37	24,35	24,97	24,54	25,31	23,98
Rango	0,31	0,18	0,08	0,22	0,15	0,10	0,10	0,09	0,17	0,11	0,15
B 1	22,73	22,16	25,34	23,84	23,55	22,30	24,26	24,93	24,55	25,32	23,90
2	22,77	22,16	25,38	23,82	23,61	22,50	24,24	24,94	24,48	25,43	23,93
3	22,96	22,11	25,61	23,70	23,71	22,38	24,24	25,16	24,61	25,34	23,98
Promedio	22,82	22,14	25,44	23,79	23,62	22,39	24,25	25,01	24,55	25,36	23,94
Rango	0,23	0,05	0,27	0,14	0,16	0,20	0,02	0,23	0,13	0,11	0,15
C 1	22,86	22,30	25,48	23,64	23,56	22,39	24,28	25,19	24,54	25,37	23,96
2	23,03	22,19	25,29	23,71	23,41	22,46	24,25	25,09	24,55	25,36	23,93
3	22,92	22,18	25,62	23,64	23,67	22,28	24,47	25,07	24,67	25,38	23,99
Promedio	22,94	22,22	25,46	23,66	23,55	22,38	24,33	25,12	24,59	25,37	23,96
Rango	0,17	0,12	0,33	0,07	0,26	0,18	0,22	0,12	0,13	0,02	0,16
Promedio por parte	22,90	22,23	25,47	23,75	23,61	22,38	24,31	25,03	24,56	25,35	23,96





LA COMISIÓN NACIONAL DE ACREDITACIÓN  
DE CARRERAS UNIVERSITARIAS

En sujeción y al amparo de la Ley N° 070 de la Educación "Avelino Siñani - Elizardo Pérez"  
del 20 de diciembre de 2010

# CERTIFICA

Que la Carrera de:

## INGENIERÍA INDUSTRIAL de la UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

con sede académica en la ciudad de LA PAZ, ha cumplido  
los criterios establecidos para la

### ACREDITACIÓN


al Sistema ARCU - SUR, del MERCOSUR EDUCATIVO

Este reconocimiento de la Calidad Académica tiene alcance Regional en el MERCOSUR,  
con validez de un periodo de seis (6) años.

La Paz, septiembre de 2019

  
Msc. Lic. Eduardo Cortez Baldovino  
Presidente de la Comisión Nacional de  
Acreditación de Carreras Universitarias de Bolivia

  
Lic. L. Antonio Carvalho Suarez  
Vocal de la Comisión Nacional de  
Acreditación de Carreras Universitarias de Bolivia

  
Abog. Juan Justo Roberto Bohórquez Ayala  
Vocal de la Comisión Nacional de  
Acreditación de Carreras Universitarias de Bolivia



## COMITÉ EJECUTIVO DE LA UNIVERSIDAD BOLIVIANA

Certifica que:

La CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL de la UNIVERSIDAD MAYOR DE  
SAN ANDRÉS, ha concluido de manera satisfactoria el proceso de Evaluación Externa con  
fines de Acreditación, de acuerdo al Reglamento vigente en el Sistema de la Universidad  
Boliviana.

Que, al amparo de la Resolución No. 92/2023 de la II Conferencia Nacional Ordinaria de  
Universidades, llevada a cabo el día 14 de febrero del año en curso, en la ciudad de Sucre, la  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL de la Universidad Mayor de San Andrés de  
la ciudad de La Paz es reconocida como:

### UNIDAD ACADÉMICA ACREDITADA

El periodo de Acreditación se extiende hasta el 05 de septiembre del 2025.

Es cuanto certificamos en honor a la verdad con el respaldo de la documentación respectiva.

La Paz, marzo 2023

  
M.Sc. Ing. Freddy Mendoza Espinoza  
SECRETARIO EJECUTIVO NACIONAL

  
M.Sc. Lic. José Luis Saucedo Saucedo  
SECRETARIO NACIONAL DE EVALUACIÓN  
Y ACREDITACIÓN

  
Abog. Israel Hugo Centellas Vargas  
SECRETARIO NACIONAL DE  
DESARROLLO INSTITUCIONAL

  
Ing. Mario Fernando Urey Contreras  
SECRETARIO NACIONAL ACADÉMICO



[industrial.umsa.bo](http://industrial.umsa.bo) / [iiifi.umsa.bo](http://iiifi.umsa.bo) / [inuisiso.umsa.bo](http://inuisiso.umsa.bo) / [iniam.umsa.bo](http://iniam.umsa.bo)





Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ingeniería

Todos los Derechos Reservados, 2023  
La Paz - Bolivia



Av. Mcal. Santa Cruz N° 1175  
Plaza del Obelisco  
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería  
Tel. 2205000 - 2205067 Int. 1402  
Web: [industrial.umsa.bo](http://industrial.umsa.bo)  
Email: [ingindustrial@umsa.bo](mailto:ingindustrial@umsa.bo)  
[revistaindustrial4.0@umsa.bo](mailto:revistaindustrial4.0@umsa.bo)  
Campus Universitario - Cota Cota, calle 30

by:

