

Mejora del Desempeño de un Proceso de Manufactura de Cajas de Cartón para Empaque y Distribución

Luis Daniel Leal Escobedo¹, Dr. Luis Alberto Rodríguez Picón², Dr. Luis Carlos Méndez González³, Dr. Iván Juan Carlos Pérez Olguín⁴

Resumen—Todo proceso dentro de una empresa tiene un objetivo que debe cumplir para que la productividad sea satisfactoria, de ahí la importancia de siempre buscar mejoras para mantener el correcto funcionamiento de un proceso. Para que un proceso esté bajo control existen diversas herramientas e incluso filosofías otorgadas por gurús de la calidad, que tienen por objeto evaluar, supervisar y controlar las variables que influyen en los resultados del proceso. La variabilidad está presente en todo proceso de manufactura, no se puede eliminar, pero se puede controlar. Como base para justificar el comportamiento de un proceso es necesario validar la calidad de los datos. Existe una posibilidad de que los datos no sean confiables debido a un problema en el sistema de medición y si no se confía en los datos no se puede tener confianza en los resultados del proceso. El objetivo de este artículo es validar el método de medición que se tiene para la revisión de un producto, se realiza mediante un análisis R&R. Así mismo, una vez evaluado el método se realiza un estudio de capacidad para evaluar la variación natural en el proceso de manufactura de cajas de cartón para empaque.

Palabras claves—calidad, producción, Análisis R&R, estudio de capacidad.

Introducción

Todo proceso de manufactura debe tener como prioridad entregar productos de calidad, es común que la ambición por la productividad permita que la calidad sea vista como un impedimento al ser la encargada de cuidar los procesos y evaluar resultados en base a lo estadístico para determinar la efectividad de un proceso, de manera que la calidad tiene por objetivo brindar al cliente un producto que contenga las características y especificaciones requeridas. Para mantener bajo control los procesos y asegurar calidad en los productos se tiene una amplia gama de herramientas, de las cuales serán estudiadas dos: Estudio R&R e índice de capacidad de proceso.

Un estudio de repetibilidad y reproducibilidad tiene por objeto reducir la variabilidad de un proceso analizando el método de medición y las diferentes personas que efectúan las mediciones, con el fin de tener una mejor exactitud en las mediciones y de esta manera tener confianza en que los datos que nos proporciona el proceso son fiables. Un artículo publicado en 2015 presenta una problemática donde la detección de defectos en envases depende de atributos físicos o dimensionales, “determinar los defectos de atributos es más complejo aún ya que el método de control está asociado al criterio visual de cada empacador. [...] Se debe aplicar un concepto o criterio objetivo al momento de decidir si un envase debe ser aprobado o rechazado” (Rodríguez Barragan, 2015). Tras realizar el estudio R&R, el autor comparte resultados en los que se puede destacar que se tomaron decisiones para definir intervalos de capacitación al personal que analiza los envases, así como complementar el análisis con la ayuda de un estudio de índice de capacidad. Un sistema de medición defectuoso puede potencialmente ocasionar problemas al tratar de determinar una causa raíz, así como un incremento en la tasa de desperdicios sin mencionar los rechazos y quejas de cliente al no cumplir con la calidad del producto.

La variabilidad no se puede eliminar, por tanto, durante un proceso se debe permitir una tolerancia, sin embargo, se debe tener en cuenta el impacto que tiene la variabilidad para de esta manera trabajar dentro de las especificaciones requeridas, entonces un análisis de índice de capacidad será de ayuda para monitorear el comportamiento de la variación natural del proceso. En el artículo de Mosquera-Artamonov (2014) publicado en la revista chilena de ingeniería se llevó a cabo un estudio de índice de capacidad a un proceso de inspección a cajas de

¹ Luis Daniel Leal Escobedo es estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua al153961@alumnos.uacj.mx (autor corresponsal)

² El Dr. Luis Alberto Rodríguez Picón es Profesor-Investigador en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. luis.picon@uacj.mx

³ El Dr. Luis Carlos Méndez González es Profesor-Investigador en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. luis.mendez@uacj.mx

⁴ El Dr. Iván Juan Carlos Pérez Olguín es Profesor-Investigador en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. ivan.perez@uacj.mx

productos médicos. Durante el estudio se utilizaron herramientas estadísticas y software que contribuye a la correcta ejecución del análisis. Los resultados del análisis fueron desfavorables, según el mismo autor “En la evaluación del proceso se determinó que el proceso no tiene capacidad para cumplir con los límites de control [...] se recomienda aumentar el nivel de [...] inspección analizar nuevamente los datos recolectados para determinar el efecto del cambio del plan de muestreo.”

Método

En la Figura 1 se presenta un diagrama de actividades, el cual plantea el orden del procedimiento a seguir para realizar con éxito los estudios R&R e índice de capacidad.

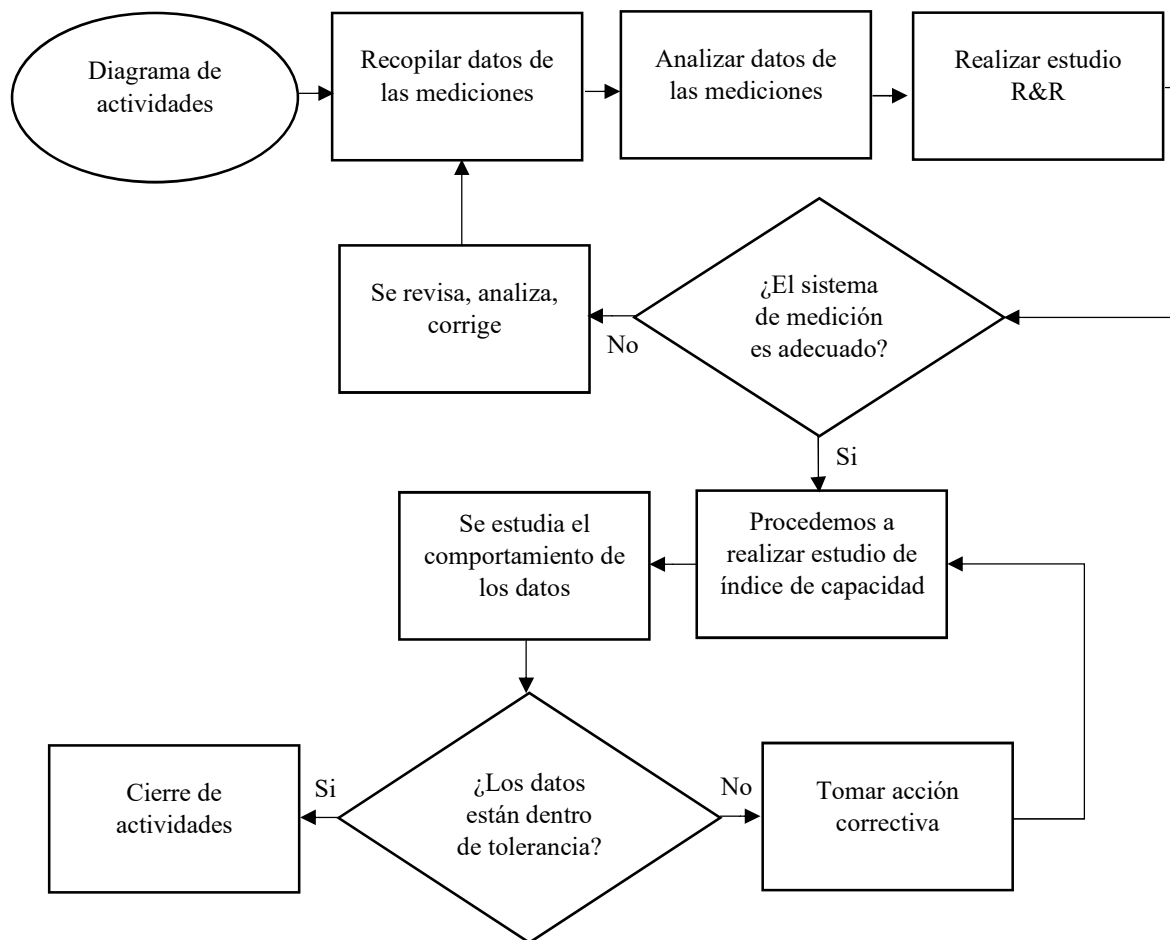


Figura 1. Diagrama de actividades a realizar

Descripción de actividades a realizar:

Recopilación de datos: La información que se considere relevante se recopilará en una hoja de cálculo, datos que cumplirán la función de sustentar la hipótesis de que se debe evaluar el sistema de medición actual.

Analizar datos: Una vez que se tiene el historial de datos, se analiza para encontrar la cantidad de piezas defectuosas debido a las dimensiones y en efecto afirmar que se debe realizar un estudio en el sistema de medición.

Realizar estudio R&R: Se realizará un análisis de repetibilidad y reproducibilidad para evaluar y determinar el estado actual del sistema de medición por parte de las personas involucradas en este proceso.

¿El sistema de medición utilizado es adecuado?: Si el estudio demuestra que el sistema de medición es adecuado, se procede a realizar el estudio de índice de capacidad. Por otra parte, si el resultado del estudio corrobora que se cuenta con un sistema de medición deficiente, se debe evaluar el sistema actual, corregir y arreglar las deficiencias. Una vez hechos los cambios se debe repetir los pasos anteriores hasta que se obtenga un resultado aceptable en el estudio R&R.

Estudio de índice de capacidad: Una vez que se obtengan resultados favorables en el análisis R&R, se procede a realizar un estudio de capacidad para monitorear la variación natural de las piezas durante el proceso.

Comportamiento de los datos: Se revisan los resultados del estudio de índice de capacidad

Datos dentro de tolerancia: si los datos se encuentran dentro de los límites de tolerancia del proceso, se procede a terminar las actividades, ya que el proceso está cumpliendo con la calidad deseada. De no ser este el caso, y se presenten resultados negativos en el estudio, se deberá tomar alguna acción correctiva y volver a realizar un estudio de capacidad hasta que este demuestre cumplir con la calidad del proceso deseada.

Estudio R&R

El plan de trabajo se realizó de acuerdo al diagrama de actividades, para el estudio R&R se llevó a cabo una recopilación de datos en una hoja de cálculo, con la finalidad de contar con un historial de desperdicios debido a que el material no cuenta con las dimensiones requeridas, a partir de este punto se procede a realizar un estudio de repetitividad y reproducibilidad en base a la hipótesis de que no se cuenta con un sistema de medición óptimo, hipótesis respaldada por la información previamente recabada.

Para el estudio se utilizaron 10 piezas, a las cuales 3 operadores midieron un total de 3 veces para obtener finalmente 90 mediciones. A cada operador se le asignó de manera aleatoria una pieza y con ayuda de un flexómetro tomaba la medida del ancho de la pieza, como se puede ilustrar en la figura 2, dimensión considerada crítica pues de no cumplir con la medida requerida al armar la pieza esta no cierra totalmente, causando la inconformidad del cliente. Posteriormente se procedía a recolectar la medida que el operador obtuvo de la pieza en una hoja de cálculo, una vez obtenidas las 90 mediciones, con la ayuda del software Minitab se realizó la revisión del sistema de medición mediante un ANOVA cruzado, de esta manera con los resultados arrojados por el análisis se procedió a la interpretación de gráficos e información proporcionada.

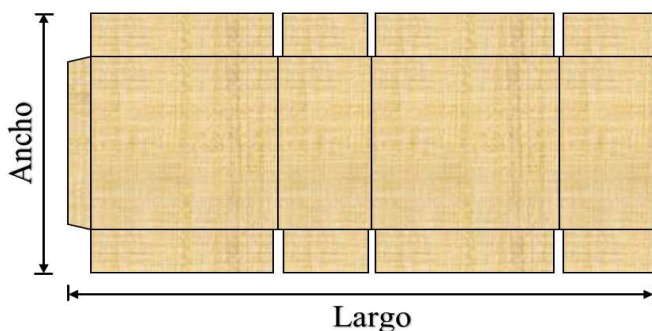


Figura 2. Ancho y largo de la pieza

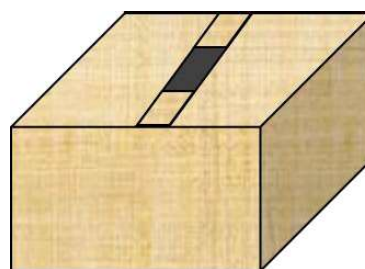


Figura 3. Ejemplificación de pieza defectuosa

Un primer análisis R&R concluyó con resultados desfavorables, no rechazando la hipótesis planteada en un inicio de que el sistema de medición con que se contaba no es apto, requiere ser corregido y se asume entonces que no se puede confiar en las mediciones obtenidas y se debe trabajar en mejoras del sistema para poder evaluar el rendimiento del proceso. De esta manera fue necesario hacer una revisión y corrección del método de medición para realizar un segundo análisis R&R, claro está, si aun después de realizar mejoras así como un segundo análisis, los resultados continúan demostrando que el sistema de medición no es capaz de evaluar el rendimiento del proceso, será necesaria la búsqueda

de mejoras, recolección de datos y otro análisis de repetitividad y reproducibilidad, este ciclo será repetido hasta que el sistema de medición sea preciso, de igual manera que este dentro de lo aceptable según los parámetros del AIAG.

Como mejoras para lograr un sistema de medición confiable, se trabajó en una capacitación; se enseñó a los operadores encargados de efectuar las mediciones la forma correcta para la toma de medidas, de que extremo a que extremo, así como un repaso general de las partes que constituyen la pieza, cuales son las medidas que pueden considerarse críticas y las acciones a tomar en caso de encontrar irregularidades en el material. Uno de los puntos más importantes en los que se trabajó fue con el uso y la condición en que se encontraba la herramienta de medición, el flexómetro. Durante la toma de las primeras medidas de las piezas fue notorio el cambio en la manipulación del instrumento, de operador a operador, e incluso el mismo operador entre cada cambio de pieza, desde un juego con la holgura que posee el tope de la cinta, hasta operadores que median las piezas a partir de un punto en la cinta métrica. En cuanto a lo que se refiere al estado del instrumento, se observó que se genera un desgaste en la cinta métrica debido al constante uso, como consecuencia las medias en la cinta se vuelven menos visibles y se dificulta apreciar el valor que resulta al tomar una medida. Así como en la cinta métrica, también se observó en el tope o gancho de la cinta que se encontraba golpeada y con una leve curvatura que podría estar explicando la variación en las medidas obtenidas. Se trabajó en dar capacitación sobre el uso del flexómetro, las partes que componen al instrumento así como la correcta manipulación de este para una correcta toma de medidas, en cuanto al estado de la herramienta de medición, fue posible asignar flexómetros nuevos a los operadores, e incluso se realizaron inspecciones de los instrumentos de medición cada cierto tiempo para evitar este tipo de problemas en un futuro.

Por último se realizó una instrucción de trabajo con la finalidad de reforzar la capacitación que previamente fue expuesta a los operadores, de igual manera para contar con un documento con el método estandarizado en caso de cualquier tipo de imprevisto. Una vez realizadas las acciones correctivas se procedió a realizar un segundo estudio R&R para evaluar método de medición; se realizó de la misma manera que el primer estudio, 10 piezas, 3 operadores, 3 repeticiones para un total de 90 mediciones, con los datos recopilados pasamos al software Minitab y se realizó un análisis de varianzas, finalmente se interpretó la información resultante.

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
parte	9	1.95778	0.217531	966.498	0.000
operador	2	0.00022	0.000111	0.494	0.612
Repetibilidad	78	0.01756	0.000225		
Total	89	1.97556			

Figura 4. Tabla ANOVA dos factores sin interacción

El segundo análisis que se realizó obtuvo resultados favorables, Comenzando con el análisis de la tabla ANOVA (figura 4), sin embargo, antes de cualquier interpretación, las piezas utilizadas para realizar el estudio, muestran un rango natural de variación en el proceso, es decir que se puede conocer si una pieza es aceptable o por el contrario es una pieza defectuosa, de esta manera se espera que la parte sea siempre una fuente significativa de variación, caso contrario al operador en el que se espera que este no sea una fuente significativa de variación. Partiendo de este punto, se realiza una prueba de hipótesis con un nivel de significancia de 0.05 para entonces llegar a una conclusión en la cual el operador si es una fuente de significancia mientras que las partes no son una fuente de significancia de variación, tal y como se deseaba al inicio del análisis.

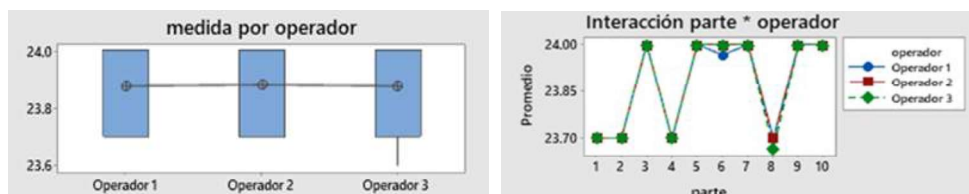


Figura 5. Gráficos de informe del análisis R&R efectuado

De los distintos gráficos que resultan de analizar un estudio R&R, se tomaron los dos mostrados en la figura 5, los cuales son sencillos de interpretar a simple vista y muestran el comportamiento de los datos. El primer caso, un diagrama de caja en el cual nos presenta la amplitud de distribución de datos así como la uniformidad de medias, y

precisamente se puede ver como la línea pasa por las medias de las cajas casi en un mismo punto, con una ligera variación en el segundo operador, a pesar de esta última mención, el comportamiento de las medias es muy similar en los distintos puntos que conecta. En el segundo diagrama se puede apreciar la interacción parte por operador, donde los datos tienen un comportamiento muy similar y solo es en dos ocasiones donde se muestra que hubo una variación en las mediciones que causo puntos fuera del patrón que se tiene.

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)	%Tolerancia (VE/Toler)
Gage R&R total	0.015002	0.090014	9.61	15.00
Repetibilidad	0.015002	0.090014	9.61	15.00
Reproducibilidad	0.000000	0.000000	0.00	0.00
operador	0.000000	0.000000	0.00	0.00
Parte a parte	0.155387	0.932321	99.54	155.39
Variación total	0.156109	0.936657	100.00	156.11

Número de categorías distintas = 14

Figura 6. Evaluación del sistema de medición

La información proporcionada en la tabla de evaluación del sistema de medición nos permite, en cuestión de porcentajes, saber cuánto contribuye de variación el sistema de medición con el que se cuenta, para este caso observamos un 9.6% de variación total el cual, según la categorización utilizada por el AIAG se considera aceptable, dentro de un rango de 0 a 10% el sistema es totalmente capaz de evaluar el rendimiento del proceso.

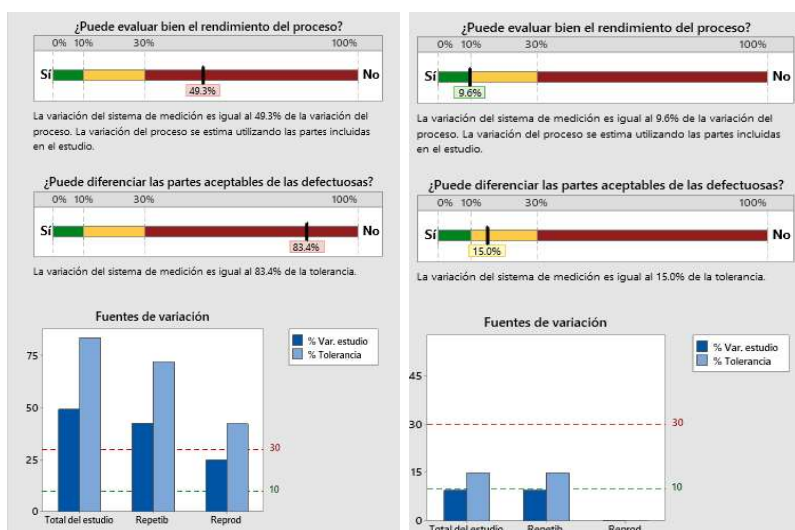


Figura 7. Comparación de resultados entre análisis R&R

El segundo análisis R&R concluyó de manera positiva, como se observa en la figura 7 de una forma muy intuitiva, por el lado izquierdo tenemos los resultados obtenidos en el primer análisis, el cual no era óptimo para evaluar la capacidad del proceso, con un porcentaje de contribución realmente muy alto incluso encima de lo considerado marginal, de igual manera se logra apreciar que tanto la reproducibilidad como la repetitividad son fuentes significativas de variación. Los resultados obtenidos en el segundo análisis, muestran no solo una muy significativa disminución del porcentaje de contribución por variación, también demuestra que con las mejoras aplicadas al sistema de medición fue capaz de estar bajo el 10% establecido por el AIAG para considerar que el sistema tiene la capacidad de evaluar el rendimiento del proceso. A pesar de los favorables resultados, es recomendable trabajar en más acciones para incrementar la efectividad del sistema de medición, pues también se puede apreciar el problema detectado en la figura 6, existe un 15% de contribución de variación debido a la repetitividad, por lo que, se recomienda trabajar en alguna mejora que logre hacer más fiable el sistema de medición.

Índice de capacidad

Con un sistema de medición confiable, el siguiente paso fue el realizar un estudio de capacidad para monitorear el comportamiento de la variación natural del proceso. Para esta labor fue necesaria la recolección de datos para posteriormente introducirlos al programa Minitab y entonces obtener conclusiones en base al resultado. Durante la recolección de datos se presentó un factor que provocó una variación en las medidas de la piezas, la velocidad de operación de la máquina. Se trabajó el proceso con 3 cambios de velocidad, en los cuales las piezas tendían a cambiar ligeramente su medida, siendo la velocidad que puede ser considerada la intermedia, la cual mantuvo a las piezas con la medida óptima. Al realizar el análisis en Minitab el primer punto a tomar en cuenta es que no hay un a normalidad en los datos, los indicadores a largo plazo muestran que el proceso potencialmente saldrá de la tolerancia permitida por el límite superior. Para controlar el proceso será necesaria la estandarización de la velocidad, un parámetro de velocidad debe ser implementado, sin embargo, los datos obtenidos mediante la recolección están dentro de la tolerancias permitida por lo que esta mejora será considerado un proyecto a futuro.

Comentarios finales

Resumen de resultados

El estudio estuvo enfocado en la evaluación del sistema de medición, se realizaron un total de dos análisis R&R, el primero demostró que el sistema de medición no era confiable, por lo que se precedió a realizar mejoras, las cuales fueron: capacitación al operador, capacitación al operador sobre el uso de la herramienta de medición condiciones del instrumento, y una instrucción de trabajo para la revisión de piezas. Posterior a las mejoras se realizó un segundo análisis de repetibilidad y reproducibilidad en el cual se demuestra una mejora significativa con respecto al primer análisis, así como clasificar como apto para evaluar el rendimiento del proceso según la AIAG.

Después de haber obtenido un resultado positivo en el estudio R&R, se prosiguió a un análisis de capacidad, en el que a pesar de por el momento encontrarse los datos dentro de la tolerancia, los datos están cerca de los límites, los indicadores a largo plazo indican que el proceso saldrá del límite superior. La mejora y acciones para corregir el problema que potencialmente puede suceder serán de igual manera contempladas como un proyecto a futuro.

Conclusiones

Como se formuló en un inicio era de suma importancia la revisión del sistema de medición, pues después de haber concluido el primer análisis R&R, fue evidente que no se podía confiar en las mediciones obtenidas, no se era capaz de medir la eficiencia de un proceso hasta que el sistema fuera corregido. Fue entonces la capacitación y la revisión de las condiciones del estado del instrumento de medición, las mejoras que se implementaron y de acuerdo a al segundo estudio, fueron significativamente efectivas para la mejora del sistema de medición. Es recomendable la búsqueda de mejora pues aún existe la posibilidad de reducir más el índice de contribución de variación del sistema de medición. Con respecto al índice de capacidad, era necesario saber que los datos obtenidos eran de calidad, datos confiables, por esta razón era necesario evaluar el sistema de medición antes de realizar el siguiente paso. Como se argumentó en el apartado anterior, los datos están dentro de la tolerancia permitida, sin embargo, se tiene certeza debido a los indicadores a largo plazo que el proceso eventualmente presentara medidas que rebasaran el límite superior permitido. En este caso, la acción correctiva de más peso es la estandarización de un parámetro de velocidad en la cual las piezas se mantengan con una medida más acercada a la requerida, esta acción será trabajada como una mejora futura.

Referencias bibliográficas

Mosquera-Artamonov, J. D. (2014). Diagnóstico del proceso de inspección mediante índices de capacidad. *Revista chilena de ingeniería*, vol. 22 N° 1, 53-61.

Rodriguez Barragan, E. (2015). Analisis del sistema de medicion mediante estudio de repetibilidad y reproducibilidad en Schott Envases Farmaceuticos SAS. *Fundacion Universitaria Los Libertadores*,26

Grupo de Acción de la Industria Automotriz (AIAG). Fundada en 1982 por los tres OEMS automotrices más grandes de América del Norte, AIAG es una organización sin fines de lucro única en la que las empresas de las industrias de la movilidad han trabajado en colaboración para reducir los costos y la complejidad en la cadena de suministro. Promueve objetivos principalmente mediante la publicación de estándares y la oferta de conferencias y capacitación educativas.