

# Identificación y eliminación de generadores de baja confiabilidad en la captura de datos de un sistema M.E.S. en una empresa de alimentos en el Valle del Cauca

## Identification and removal of generators of low reliability in data capturing of a system M.E.S in a food company in Valley of Cauca

Alexander Correa, Ph. D.<sup>1</sup>, Pedro Medina, M. Sc.<sup>2</sup>, Eduardo Cruz, M. Sc.<sup>2</sup>

1. Escuela de Ingeniería de la Organización, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

2. Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia  
pemedin@utp.edu.co; ecruz@utp.edu.co; alcorrea@unal.edu.co,

Recibido para revisión 27 de junio de 2011, aceptado 18 de octubre de 2011, versión final 22 de noviembre de 2011

**Resumen** – El presente artículo muestra los resultados del proceso de investigación en el que se estudio profundamente el proceso de producción de una empresa de alimentos con el objetivo de identificar y corregir la influencia de factores significativos en la baja confiabilidad en la captura de datos de un sistema de control de la producción en una empresa de alimentos del Valle del Cauca, se hace uso extensivo de herramientas tradicionales del control de la calidad como las cartas de control, con el objetivo de evaluar el estado de las variables analizadas respecto a los estándares propuesto en el sistema ERP de la compañía. Además presenta una breve descripción del funcionamiento y los principales inconvenientes de esta importante herramienta de gestión de planta. Al final se plantean soluciones de mejoramiento respecto a la confiabilidad de la información generada por el sistema de control estudiado.

**Palabras clave** – Cartas de Control, Manufactura delgada, Sistemas de Ejecución de Manufactura (M.E.S.), Eficacia General de Equipo (OEE), Ruta de la Calidad (QC Story), SAP.

**Abstract** – This article shows the results of the investigation process in which to study deeply the production process of a food company with the objective identifying and correcting the influence of significant factors in the low reliability in a system of production control in a food company of Valle del Cauca, makes extensive use of traditional tools for quality control as the control charts, with the aim of assessing the state of the variables analyzed regard to the standards proposed in the ERP system of the company. It also presents a brief description of the operation and the main drawbacks of this important management tool plant. At the end of improvement solutions arise regarding the reliability of the information generated by the control system studied.

**Key words** – Control charts, lean manufacturing, Manufacturing Execution Systems (M.E.S.), Overall Equipment Effectiveness (O.E.E.), QC Story, SAP.

### I. INTRODUCCIÓN

Un sistema de *Manufacturing Execution Systems* (M.E.S.) es una herramienta de gestión en planta, que busca satisfacer las necesidades de información *Lean Manufacturing* [1]. Estos sistemas permiten la captura de información relevante del proceso, presentan la información del estado actual del mismo permitiendo la reacción ante imprevistos en los planes de trabajo y efectúan el cálculo de herramientas de análisis para la identificación y erradicación de las pérdidas que se presentan en él [3]. De esta forma permiten evaluar si los objetivos y planes se están desarrollando efectivamente. Es de suma importancia garantizar la menor variabilidad posible en los procesos, de tal manera que se garantice su repetibilidad y de esta manera facilitar que la organización este mejor preparada para ajustarse a los requerimientos del mercado [10] y [9]. Dorf y Bishop [5] subrayan la importancia que tiene el control, se evidencia en el hecho de que solo a través de esta función se logra precisar si lo efectuado se ajusta a lo planeado y en caso de existir desviaciones, es preciso identificar los factores comprometidos para corregir dichos inconvenientes y evitar que en un futuro nuevamente se cometan los errores del pasado.

El sistema de control de la producción que se presenta en este trabajo, es una herramienta que permite la recolección de datos que hacen referencia a diferentes eventos tales como producto en

proceso, velocidad de operación y/o el tipo de paro que justifica un estado de inactividad en la máquina o puesto de trabajo. Los datos son recolectados de forma automática en las máquinas por medio del uso de sensores y de forma manual por medio del ingreso de códigos a un módulo de captura por parte de los operarios. Esta información le proporciona al sistema de monitoreo la posibilidad de crear diferentes reportes, la construcción de importantes herramientas de análisis como el *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), además de la posibilidad de identificar de manera oportuna máquinas que se encuentren trabajando por debajo de su estándar. En este artículo se presentan un estudio de las causas de la baja confiabilidad del registro de la información de este sistema y las soluciones implementadas para hacer de este una herramienta de recolección y análisis de información decisiva en la identificación de oportunidades de mejora en la operación del área de envoltura.

II. METODOLOGÍA QC STORY

El análisis de las variables asociadas a la confiabilidad de la información capturada y presentada por el sistema de control se efectuó haciendo uso de la metodología *QC Story* o ruta de la calidad, que es una secuencia normalizada de actividades que permite solucionar problemas y que al aplicarse sistemáticamente genera un proceso de mejoramiento continuo [5]. La ruta de la calidad es una metodología basada en el ciclo Deming PHVA como se presenta en la Tabla 1. Pyzdek [14], plantea que ésta metodología tiene como finalidad diseñar e implementar medidas que contrarresten el problema, evitando que los factores causales vuelvan a presentarse. Este procedimiento es una especie de recuento o representación de las actividades de control de la calidad y por esa se le conoce con el nombre “la ruta de la calidad” [2].

Tabla 1. Gráfico de Situación

| Etapa | Diagrama de Flujo | Descripción                              | Objetivo   |
|-------|-------------------|--|--|
| P     | 1                 | 1. Definir el proyecto o problema        | Definir el problema y reconocer su importancia             |
|       | 2                 | 2. Describir la situación actual         | Investigar la situación desde distintos puntos de vista    |
|       | 3                 | 3. Analizar datos y hechos               | Describir las causas fundamentales                         |
|       | 4                 | 4. Establecer acciones                   | Determinar un plan de acción efectivo y viable             |
| H     | 5                 | 5. Ejecutar las acciones establecidas    | Llevar a cabo el plan de acción registrando los resultados |
|       | 6                 | 6. Verificar los resultados              | Verificar si las acciones han sido efectivas               |
| V     | 7                 | 7. Estandarizar                          | Prevenir la reaparición del problema                       |
|       | 8                 | 8. Documentar y definir nuevos proyectos | Recapitular información para futuros trabajos              |

En el estudio la población se ve limitada a la cantidad de equipos que se poseen en el sistema de control de la producción en el área de envoltura. En el momento de la realización del estudio estaban instalados en 20 envolvedoras de las cuáles 17 envolvedoras son aquarius T-300 (Envoltura tipo Twist) y 3 envolvedoras tipo BUNCH. Chaudhry y Higbie [7], plantean que es innegable las ventajas que posee un buen muestreo frente al censo de la población cuándo se advierte que el universo o el número de individuos que se desea analizar es considerablemente grande. En este trabajo dado la limitada cantidad de envolvedoras a estudiar y principalmente debido a las necesidades de exactitud que merece el desarrollo o aplicación de esta herramienta de control se aplicará un censo.

III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA M.E.S

A continuación se presenta una descripción general del proceso de recolección y presentación de la información por parte del sistema de monitoreo en el área de envoltura de

la empresa objeto de estudio. A este sistema se le aplicó la metodología anteriormente descrita con el objetivo de encontrar y neutralizar los factores que inciden en la variabilidad y baja confiabilidad en la captura y/o presentación de la información. El esquema general de la operación del sistema de monitoreo se puede visualizar en la Figura 1. El significado de los procesos o etapas generales presentados en el esquema se describe a continuación:

PROCESO: es el conjunto de actividades que se llevan a cabo para elaborar un producto o prestar un servicio. En éste, se conjugan la maquinaria, los insumos (materiales, materia prima) y el personal de la empresa necesarios para realizar la transformación del producto. CAPTACIÓN: En control de procesos, esto equivale a captar la variable a través de un elemento de medida. Para este sistema en especial se hace uso de sensores fotoeléctricos de reflexión mediante los cuales se obtiene información referente a la cantidad de unidades procesadas, velocidad de operación y registro de tiempo asociado a los

diferentes eventos de producción. Otra forma de captura de información complementaria al sistema se hace por medio del ingreso de códigos manuales por parte del recurso humano encargado de operar el equipo. Los códigos numéricos que se ingresan de esta forma le indican al sistema que referencia o producto se está procesando, código de paro que describe el evento de detención de un equipo, control de materiales y operario encargado del equipo.

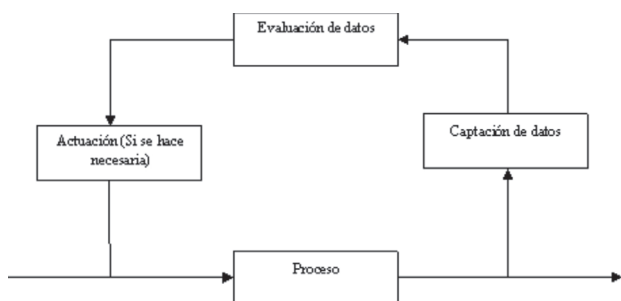


Figura 1. Esquema operación sistema de control de la producción

**EVALUACIÓN:** Consiste en atribuir la importancia adecuada a la captación hecha, de acuerdo con el algoritmo de control del proceso, es decir, por comparación entre la variable de proceso captada y el valor deseado o punto de consigna. A partir de aquí, se obtendrá una señal de corrección. **ACTUACIÓN:** Va dirigida al elemento final de control, siempre y cuando dicha actuación sea requerida para al alcance de los planes de producción y en pro del mejoramiento del proceso monitoreado. Está investigación se centro especialmente en identificar y corregir los generadores de variabilidad (causas asignables) en el registro de la información capturada por el sistema de monitoreo respecto de los acontecimientos reales en el proceso de envoltura.

#### IV. FASES DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

Se realizó una primera fase experimental que permitió establecer un punto de partida para la realización de un diagnóstico sobre el estado actual del sistema y ofrecer así una referencia para abordar las variables generadoras de variabilidad en la captura y presentación de la información en el sistema analizado. En esta fase se definieron las variables más significativas que básicamente hacen referencia a la forma de captura y tratamiento de la información: Registro del sensor, registro información operarios y presentación de la información y cálculo de indicadores.

En la segunda fase de la investigación fue necesario analizar las características específicas del problema así como visualizar como se esta llevando a cabo el registro de información en el sistema de monitoreo de la producción y que actores y/o variables intervienen en el mismo. En la tercera fase fue necesario diseñar métodos de evaluación para medir el registro de información que hace el sistema de monitoreo permitiendo descubrir las causas

fundamentales que dan origen a la falta de confiabilidad. En la cuarta fase se proponen soluciones para reducir el efecto de las causas de variabilidad. La quinta fase de la investigación consistió en evaluar e implementar los mecanismos necesarios para bloquear el efecto de las causas fundamentales. En la sexta fase se evaluó el estado del sistema una vez implementado los mecanismos de bloqueo para los generadores de no confiabilidad en el sistema de control de la producción. Lo cuál permitió establecer si fue efectivo o no el bloqueo. La séptima fase consiste en prevenir la reaparición del problema para ello es necesario que se sigan realizando revisiones periódicas a las diferentes variables que inciden en la baja confiabilidad del sistema.

#### V. ANÁLISIS DE VARIABLES Y BLOQUEO DE GENERADORES DE BAJA CONFIABILIDAD

Los seguimientos realizados para identificar la precisión en el registro de la información presentada por el sistema de monitoreo abordó el estudio de las siguientes variables:

##### 5.1 Variables asociadas a la captura del sensor

El sistema de monitoreo por medio del uso del sensor captura de forma automática información referente a la cantidad de unidades procesadas y la duración de los diferentes eventos de paro o producción del proceso de envoltura.

##### Registro de unidades

El registro de unidades se hace por medio de la utilización de un sensor fotoeléctrico de reflexión que envía un haz de luz que es devuelto por la unidad procesada generando una medida de 24 VDC. La lectura de este voltaje le indica al sistema que se ha envuelto una unidad de producto. Este procedimiento se repite para  $n$  unidades por lo cuál el sistema está en la capacidad de registrar las  $n$  unidades procesadas. Para evaluar la exactitud del registro de unidades se realizaron pruebas de conteo con la finalidad de evaluar si los sensores o algún otro elemento que interviene en la lectura de voltaje y decodificación de la señal presentaban problemas. Los resultados de las pruebas se pueden observar en la Tabla 2. Se observa que el error en el registro de unidades tiene un comportamiento aleatorio variando de -0.35% a 24.32%.

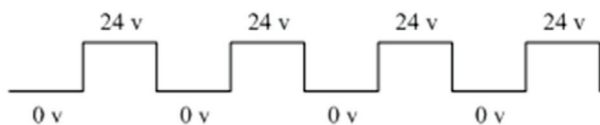
El desarrollo de una siguiente prueba se enfocó en equipos que poseen contador digital de unidades y que toman la señal del mismo sensor que utiliza el sistema (ver Tabla 3). De aquí se establece que el error en el registro de unidades por parte del sistema de monitoreo no sigue ningún patrón por lo que se concluye que el error en el registro es aleatorio variando de -1% a 100%. Sin embargo un hecho muy interesante que se destaca es que la cantidad de unidades envueltas siempre coincide con el registro reportado en el tablero del contador digital de la envolvedora, por consiguiente permite establecer que tanto la detección como la entrega de la señal del sensor a los dispositivos es correcta.

Tabla 2 . Resultados prueba de registro de unidades

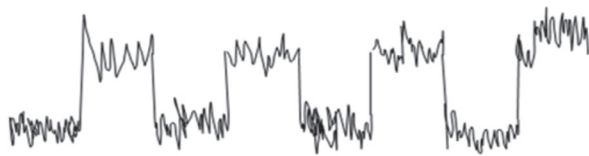
**Tabla 3.** Resultados muestreos contador digital vs sistema

|  |        |  |         |
|--|--------|--|---------|
| Equipos muestreados                          | 36,00  | Equipos muestreados                          | 17,00   |
| Promedio unidades envueltas real             | 293,50 | Promedio unidades envueltas real             | 105,29  |
| Desviación estándar                          | 18,58  | Desviación estándar                          | 76,88   |
| Promedio registro sistema monitoreo          | 309,77 | Promedio registro sistema monitoreo          | 118,70  |
| Desviación sistema de monitoreo              | 30,95  | Desviación sistema de monitoreo              | 80,03   |
| Error promedio sistema monitoreo conteo real | 16,222 | Error promedio sistema monitoreo conteo real | 13,41   |
| % Error promedio sistema                     | 5,53%  | % Error promedio sistema                     | 0,00%   |
| % Error máximo sistema                       | 24,32% | % Error máximo sistema                       | 100,00% |
| % error mínimo sistema                       | -0,35% | % error mínimo sistema                       | 0,00%   |

El resultado anterior permitió dar origen a una hipótesis: El módulo de captura es el que presenta inconvenientes. Al realizarse un estudio mas profundo de este componente se encontró que la señal que llega al módulo presentaba mucho ruido además que el módulo era muy sensible a estas variaciones por lo cual se generaba un conteo falso de unidades. En la Figura 2 se presenta un esquema de como debería ser la señal que es entregada por el sensor fotoeléctrico.

**Figura 2.** Estado ideal de la señal entregada por el sensor

Por otro lado, La Figura 3 presenta el estado de la señal entregada por el sensor fotoeléctrico con presencia de ruido. Normalmente el ruido no debería afectar el registro del módulo captura ya que los dispositivos que toman señales por medio de sensores lo que generalmente codifican son alzas y caídas de voltaje. No obstante si el ruido es muy fuerte y una subida de voltaje es tan alta que sobrepase los límites de frecuencia esta se vuelve una baja de voltaje y por consiguiente se generará un conteo adicional [13]. Sin embargo lo que sucede con los módulos es que son muy sensibles al ruido, por consiguiente y como medida correctiva se instalaron tarjetas de filtro para eliminar este problema en todos los equipos que posean el módulo captura. Los resultados de una tercera prueba de muestreo una vez ya instalados los dispositivos de bloqueo de ruido en la señal presentan los siguientes resultados. Ver Tabla 4.

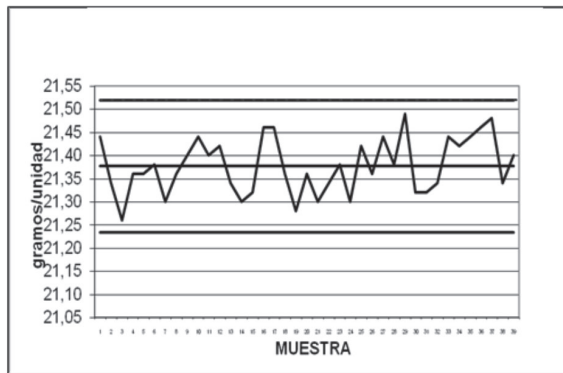
**Figura 3.** Estado señal con presencia de ruido**Tabla 4.** Prueba de conteo bloqueo de ruido en la señal

|  |        |
|--|--------|
| Equipos muestreados                          | 85,00  |
| Promedio unidades envueltas real             | 192,96 |
| Desviación estándar                          | 180,51 |
| Promedio registro sistema monitoreo          | 192,96 |
| Desviación sistema de monitoreo              | 180,51 |
| Error promedio sistema monitoreo conteo real | 0,00   |
| % Error promedio sistema                     | 0,00%  |
| % Error máximo sistema                       | 0,00%  |
| % error mínimo sistema                       | 0,00%  |

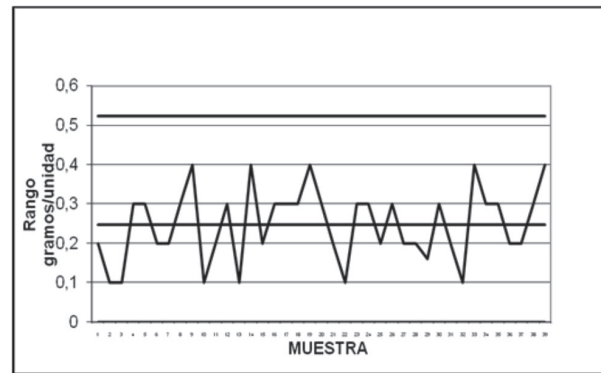
Este resultado es un avance muy importante en el aumento de la confiabilidad en el sistema de monitoreo ya que se paso de un error en le registro de 5.54% a 0% con la instalación de estos filtros. Sin embargo el sistema de control para hallar la producción en kg en un determinado periodo de tiempo lo que hace es tomar la cantidad de unidades registradas en ese periodo y multiplicarla por su peso bruto promedio de acuerdo a la referencia tal como se presenta en la Ec. (1). El peso bruto es tomado de la base de datos y no es otra cosa que el peso estándar que está definido en SAP para este producto.

$$\text{Pro. Total kg} = \text{unds.regitradas} * \text{factor peso bruto} \quad (1)$$

De la ecuación anterior se puede deducir que a pesar de que se identificaron y corrigieron los problemas presentes en el conteo de unidades se sigue presentando variabilidad en la producción registrada por el sistema de monitoreo y la producción real. Lo anterior obedece a la diferencia que existe entre el peso bruto promedio definido en SAP con su respectiva variabilidad  $21.65 \pm 0.3$  gr y el peso bruto real de la unidad envuelta. La variación en el peso del producto envuelto básicamente depende del gramaje de la unidad desenvuelta y el gramaje de bobina consumida por unidad.



**Figura 4.** Carta de control x gramaje unidad desenvuelta  
 Carta de control X(gr):  
 Línea central: 21.37  
 LSC: 21.52  
 LIC: 21.23



**Figura 5.** Carta de control R gramaje unidad desenvuelta  
 Carta de control R (gr):  
 Línea central: 0.25128  
 LSC: 0.5313  
 LIC: 0

Lo anterior indica que si se quiere tener mayor confiabilidad en el registro de la producción del sistema de monitoreo, se debe ejercer mayor control sobre el gramaje del producto desenvuelto y el gramaje de bobina consumida por unidad envuelta; ya sea ajustando más estas variables a los promedios definidos en SAP o redefiniendo nuevos límites de control. En el desarrollo de la presente investigación estas variables se consideraron como causas no asignables (aleatorias) ya que dependen del proceso de fabricación anterior y de los materiales constitutivos del producto ciertamente ajeno al registro del sistema de control. Para visualizar el comportamiento de las variables asociadas a la variación en el gramaje del producto se diseñaron cartas de control para variables X-R como lo presentan Montgomery [12] y Lendolter *et al.* [13]. Inicialmente se presenta la carta de control para el análisis del peso bruto del producto desenvuelto ver Figura 4 y 5. La información de los respectivos límites de control para el peso bruto del bombón se presenta continuación:

Ya que no se evidencian tendencias y no se encuentran puntos por fuera de los límites de control se establece que en promedio el gramaje de una unidad desenvuelta es 21.37 con una variabilidad de  $\pm 0.15$ gr. Como se puede observar existe una diferencia en los pesos promedios que hay en SAP respecto de los reales; sin embargo se observa que el peso bruto real se encuentra dentro de los límites de control pero con un peso promedio inferior. Por lo anterior es posible pensar que para el proceso de troquelado y envoltura se deben revalorar los límites de control definidos en SAP. Se puede establecer para el proceso de envoltura que una envolvedora en condiciones normales de operación puede llegar a envolver 119.000 unidades por turno de trabajo de 8 horas. De tal forma que es posible identificar de manera aproximada en cuanto contribuye la variabilidad que presenta el gramaje del producto troquelado en la generación de error en los reportes de producción del sistema de monitoreo. Para ilustrar mejor está apreciación se procede a calcular el registro de unidades por el peso bruto.

- Cálculo kg desenvueltos con peso bruto promedio SAP.  
 $21,65 * 119000 / 1000 = 2.576$  kg

- Cálculo kg desenvueltos con peso bruto promedio carta de control.  $21.37 * 119000 / 1000 = 2.543$  kg

Si se compara los dos valores obtenidos se observa una diferencia en la producción de 32,97 kg. Es decir se están reportando 33 kg de más en un turno de trabajo por envolvedora, a simple vista no parece ser mucho pero si esto se multiplica por 20 envolvedoras que tienen este sistema el error es de 660 kg de producción.

Otro factor que incide para aumentar la variabilidad del total de la producción real comparada con la que reporta el sistema de monitoreo es el gramaje y área de la bobina por unidad envuelta. Se estableció que el área de la película de envoltura o bobina para una unidad según información tomada de SAP debe tener un largo de 115 mm y un ancho de 110 mm con un peso de 0,41 gramos lo cual lleva a la unidad envuelta a un peso bruto promedio de 22,060 gramos/und. Sin embargo en el proceso de producción se encontró que el largo de corte es mayor lo cual lleva a generar otra variación respecto al gramaje de la unidad envuelta. En la Tabla 5 se presenta información del largo de corte de la bobina. El muestreo de largo de corte dio un promedio de 117,9 mm es decir una diferencia respecto al estándar por SAP de 2,9 mm que puede ser atribuida al desajuste que se genera por la vibración de la máquina. De lo anterior se deduce la importancia de tomar de forma periódica muestreos de largo de corte de bobina con el fin de identificar y ajustar el corte en aquellas máquinas en las que el largo de corte está por encima del promedio definido. De igual forma el ajustar de manera oportuna al largo de corte establecido contribuye en un ahorro importante en el material ya que con lo que se envuelve 40 unidades parámetros actuales se podría estar envolviendo 41 unidades y hay que recordar que se pueden envolver 119.000 unidades en un turno de trabajo por envolvedora por lo cual el ahorro de material puede llegar a ser significativo si se controla está variable. Anteriormente se dijo que tanto el largo como el ancho de la bobina inciden en el aumento de la variación en el gramaje del producto envuelto, por lo cual en la Tabla 6 se presentan los resultados de muestreo de ancho de la bobina.

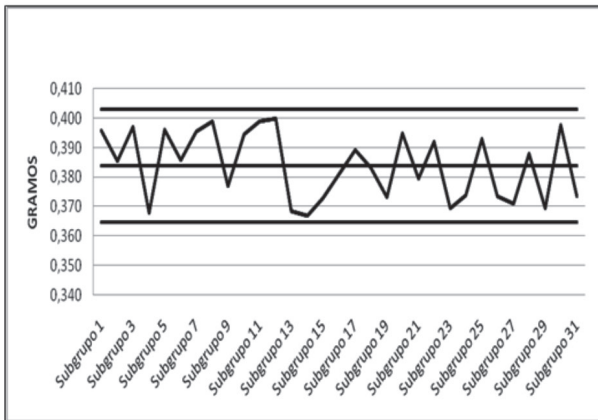
En lo referente al gramaje/m<sup>2</sup> y ancho de la bobina hay que mencionar que es una variable generada en el proceso de producción del proveedor, por lo cual su control puede llegar a ser más difícil. Sin embargo inciden en el peso bruto del producto envuelto. El promedio de la muestra es de 109.86 mm y el promedio que se encuentra en SAP es de 110 mm

**Tabla 5.** Largo de corte envoltura

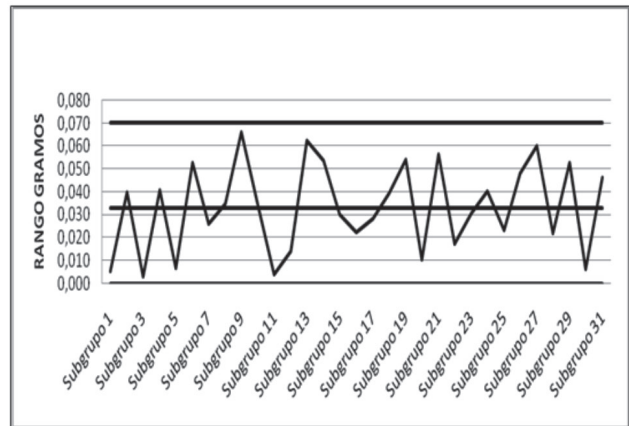
| Subgrupo | M1    | M2    | M3    | M4    | M5    | Promedio |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 1        | 117,0 | 118,0 | 118,0 | 117,5 | 118,0 | 117,70   |
| 2        | 118,0 | 117,0 | 117,0 | 117,0 | 118,0 | 117,40   |
| 3        | 117,0 | 117,5 | 116,0 | 116,0 | 117,3 | 116,76   |
| 4        | 117,5 | 118,0 | 117,0 | 117,0 | 116,5 | 117,20   |
| 5        | 119,0 | 117,0 | 116,0 | 119,0 | 117,0 | 117,60   |
| 6        | 116,0 | 117,8 | 117,0 | 118,2 | 121,0 | 118,00   |
| 7        | 120,3 | 121,0 | 120,0 | 119,0 | 119,0 | 119,86   |
| 8        | 119,3 | 120,0 | 121,0 | 121,0 | 117,0 | 119,66   |
| 9        | 115,0 | 121,0 | 119,0 | 118,0 | 117,0 | 118,00   |
| 10       | 120,0 | 119,3 | 119,0 | 118,0 | 120,0 | 119,26   |
| 11       | 119,0 | 120,0 | 118,5 | 113,5 | 115,0 | 117,20   |
| 12       | 120,0 | 120,0 | 115,0 | 119,0 | 121,0 | 119,00   |
| 13       | 115,0 | 120,0 | 116,0 | 120,0 | 115,0 | 117,20   |
| 14       | 115,0 | 118,5 | 117,1 | 119,0 | 115,0 | 116,92   |
| 15       | 118,0 | 119,0 | 116,5 |       |       | 117,83   |

**Tabla 6.** Ancho de la bobina

| Grupo | M1    | M2    | M3    | M4    | M5    | Promedio |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 1     | 109,5 | 110,0 | 110,0 | 109,8 | 109,9 | 109,84   |
| 2     | 109,9 | 110,0 | 109,9 | 110,0 | 109,5 | 109,86   |
| 3     | 110,0 | 109,8 | 109,9 | 110,0 | 109,9 | 109,92   |
| 4     | 109,9 | 110,0 | 110,0 | 110,0 | 110,0 | 109,98   |
| 5     | 109,9 | 109,8 | 110,0 | 109,5 | 109,9 | 109,82   |
| 6     | 109,5 | 110,0 | 110,1 | 109,6 | 109,8 | 109,80   |
| 7     | 109,7 | 110,0 | 109,8 | 109,9 | 109,9 | 109,86   |
| 8     | 110,0 | 109,6 |       |       |       | 109,79   |



**Figura 6.** Carta de control X gramos de bobina/unidad



**Figura 7.** Carta de control R gramos de bobina/unidad

El cálculo de los respectivos límites de control para el gramaje de envoltura/unidad de producto envuelto se presenta a continuación:

Carta de control X(gr):  
 Línea central: 0.384  
 LSC: 0.403  
 LIC: 0.365

Carta de control R (gr):  
 Línea central: 0.0331  
 LSC: 0.0701  
 LIC: 0

En los gráficos de control X-R no se visualiza tendencias ni valores por fuera de los límites de control por lo cual se puede decir que el promedio de gramaje de bobina por unidad envuelta es de 0.384 gr/unidad mientras que por SAP este gramaje es de 0.41 gr/unidad con lo cual se obtiene una diferencia de 0.026 gr/und. Es decir:

- Cálculo de kg de Bobina consumida en un turno de trabajo con promedio SAP.  $119000 \cdot 0.41 / 1000 = 48.79$  kg
  - Cálculo de kg de Bobina consumida en un turno de trabajo con promedio carta de control.  $119000 \cdot 0.384 / 1000 = 45.696$  kg
- Si se comparan los dos valores obtenidos se observa una diferencia en el consumo de la bobina de 3.094 kg por

envolvedora. Para simplificar en el proceso de envoltura por turno de trabajo se tiene:

- Reporte kg envueltos por turno sistema de monitoreo:  $119000 \times 22.060 / 1000 = 2625.14$  kg por envolvedora.
- Reporte kg envueltos por turno utilizando peso brutos promedio cartas de control:  $119000 \times 21.754 / 1000 = 2588.726$  kg por envolvedora.

El peso bruto promedio producto envuelto surge de la suma del promedio de la carta de control de gramaje de unidad desenvuelta y gramos de envoltura por unidad. Al comparar los dos valores de kg envueltos por turno se observa un error estimado de 36.414 kg por envolvedora equivalente a un error de 1.41%. A esta altura se ha asegurado conteo de unidades con un error de 0.1% sin embargo para lograr mayor precisión en el reporte de kg de producción es necesario tratar de controlar las variables anteriormente mencionadas para reducir el error de 1.41%.

- **Registro de tiempo**

Otra variable de suma importancia para evaluar la confiabilidad del sistema M.E.S. hace referencia a la duración

de los diferentes eventos de paro. El primer muestreo consistió en verificar el registro del tiempo de duración de los diferentes eventos del proceso de envoltura ya sea un paro o un estado de operación de los equipos. Los resultados de este proceso de muestreo se presentan en la Tabla 7. Los resultados presentados permiten concluir que el registro de tiempo en el sistema de monitoreo es confiable con un nivel de 99.9% y presentó un error en el muestreo no superior a 1 segundo que puede ser explicado a los errores inherentes al utilizar herramientas de medición para este caso un cronómetro digital. Este resultado es muy importante y permitirá medir exactamente el tiempo efectivo de producción y de paros, lo cual permitirá tener una estadística confiable, además de lograr un importante avance en la notificación y validez de los indicadores. Se efectuó un segundo muestreo para verificar la duración del tiempo de cambio de un estado de paro a producción (ver Tabla 8). En esta tabla se puede observar que cuándo una máquina está en estado de paro y pasa a estado de producción solo después de transcurridos en promedio 34 segundos cambia el estado de paro a PRO “Producción”.

**Tabla 7.** Duración de eventos proceso de envoltura

|  |        |  |        |
|--|--------|--|--------|
| Equipos muestreados                          | 30,00  | Equipos muestreados                          | 27,00  |
| Promedio t muestreo (min)                    | 1,62   | Promedio t muestreo (min)                    | 0,57   |
| Desviación estándar                          | 1,56   | Desviación estándar                          | 0,05   |
| Promedio registro t sistema                  | 1,62   | Promedio registro t sistema                  | 0,57   |
| Error promedio sistema monitoreo conteo real | 0,00   | Error promedio sistema monitoreo conteo real | 0,00   |
| % Error promedio sistema                     | 0,12%  | % Error promedio sistema                     | -0,18% |
| Error máximo sistema                         | 0,02%  | Error máximo sistema                         | 0,01%  |
| Error mínimo sistema                         | -0,02% | Error mínimo sistema                         | -0,01% |
| % Error máximo sistema                       | 3,23%  | % Error máximo sistema                       | 2,46%  |
| % error mínimo sistema                       | -1,56% | % error mínimo sistema                       | -1,96% |

**Tabla 8.** Tiempo de duración cambio de paro a producción

|  |        |
|--|--------|
| Equipos muestreados                          | 27,00  |
| Promedio t muestreo (min)                    | 0,57   |
| Desviación estándar                          | 0,05   |
| Promedio registro t sistema                  | 0,57   |
| Error promedio sistema monitoreo conteo real | 0,00   |
| % Error promedio sistema                     | -0,18% |
| Error máximo sistema                         | 0,01%  |
| Error mínimo sistema                         | -0,01% |
| % Error máximo sistema                       | 2,46%  |
| % error mínimo sistema                       | -1,96% |

De esta manera se puede decir que en un turno de trabajo de 8 horas el número de detenciones de una envolvedora con una eficiencia del 85% puede variar de 10 a 40 detenciones dependiendo del criterio del coordinador para asignar los equipos a las diferentes referencias principalmente cuándo

se trabaja productos surtidos, no obstante se establece que en promedio una envolvedora se detiene 22 veces en un turno de 8 horas. De acuerdo a lo anterior esto equivale a 12,46 minutos que se le cargan a los paros y se le están perdiendo a producción lo que ocasiona una disminución en el tiempo operacional de 2.60%. El inconveniente presentado por los 34 segundos en que se incurre cada vez que el equipo cambia a estado de producción se corrigió solicitando al proveedor del sistema que cada vez que se detenga el equipo se demore también 34 segundos en generar el paro. De esta forma se asegura la exactitud en el registro de tiempo además de darle al operario 34 segundos más de holgura para que ingrese el código de paro respectivo.

### 5.2 Variables asociadas al ingreso manual del operario

Cada vez que la máquina es detenida el sistema de monitoreo genera automáticamente un PNR “Paro no reportado”. Lo que hace necesario que el operario ingrese al módulo de captura el código de paro que representa el estado de inactividad del equipo una vez este no esté en producción. No obstante hay

pequeñas paradas inherentes al proceso como es el caso de cambio de bobina, obstrucción de la bobina en la cortadora y rompimiento de la bobina entre otras pequeñas detenciones que no tienen asignado un código de paro. Estas pequeñas paradas están contempladas en el estándar, precisamente en la eficacia del equipo 85%. No obstante el sistema de monitoreo no tiene capacidad de distinguir un paro de otro, el simplemente genera el PNR y espera que el operario ingrese el código de paro. Por lo anterior se puede encontrar PNR por que el ingreso del paro por parte del operario fue demorado, el paro no tiene asignado un código o porque el operario simplemente olvido el ingreso del paro. Para medir el ingreso oportuno de la información al sistema es necesario definir el periodo de tiempo que se está dispuesto a tolerar de PNR por parada de la máquina sabiendo que la eficiencia de la máquina es de 85%. Estudios realizados con anterioridad para la definición del estándar establecieron que estas pequeñas detenciones en equipos no superan los 3 minutos por lo cual se ha definido este tiempo como criterio para medir el oportuno ingreso del código de paro a los operarios. Es decir si un PNR es superior a 3 minutos puede ocurrir dos cosas, los cambios y ajustes de bobina son muy lentos o existe un retraso importante en el ingreso del código de paro, por lo cual en ambas situaciones es preciso notificarle al operario para que ingrese de forma oportuna los paros.

El objetivo principal del seguimiento al ingreso de la información por parte del operario consiste en fomentar la cultura necesaria para que el operario se adapte al sistema. Para lograrlo se planteo la estrategia de que cada vez que se hizo el seguimiento mostrarle los tiempos dejados de reportar mostrando la necesidad de eliminarlos, para asegurar la generación de estadísticas confiables respecto a la frecuencia y causa de paradas de las envolvedoras. De acuerdo a lo explicado anteriormente la variable que se seguirá es el tiempo total PNR > 3 minutos, que es en últimas la que dice cuánto tiempo se pierde por falta de notificación. En las Figuras 8, 9 y 10. Se presentan los resultados del seguimiento para todas las máquinas envolvedoras de un turno de trabajo determinado. Como se puede observar hay una gran disminución de tiempo de PNR en los 3 turnos.

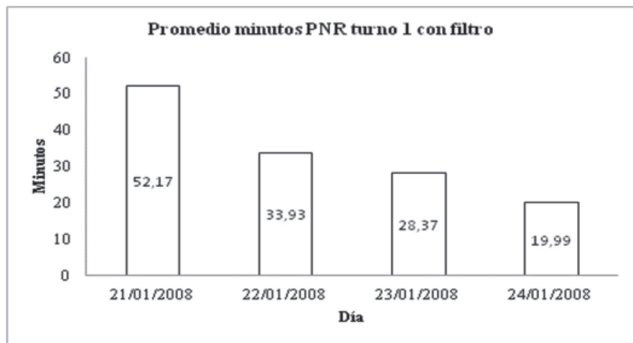


Figura 8. Promedio duración tiempos PNR envoltura

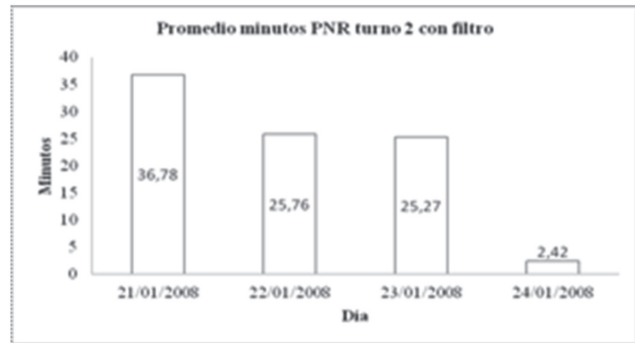


Figura 9. Promedio duración tiempos PNR envoltura

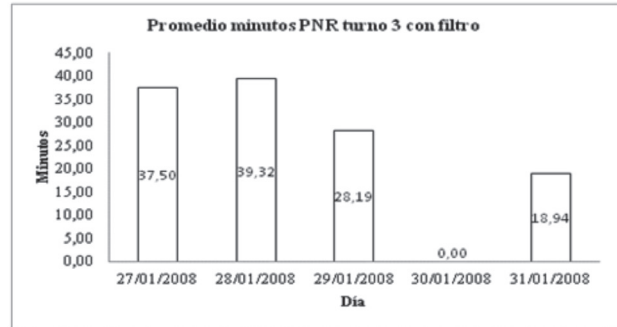


Figura 10. Promedio duración tiempos PNR envoltura

**5.3 Variables asociadas al procesamiento y presentación de la información**

El OEE refleja a modo de porcentaje el tiempo que la máquina, línea o planta de producción estuvo trabajando y la velocidad a la cual lo hizo, elaborando productos que cumplen las especificaciones de calidad. El OEE resulta de multiplicar otros tres ratios porcentuales: La Disponibilidad, la eficiencia y la calidad. Ver ecuaciones (2) y (3).

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad \quad (2)$$

$$OEE (\%) = (ITO \times IDO \times IPA) \times 100 \quad (3)$$

**Índice de calidad IPA**

IPA ecuación (4) significa índice de producto aceptado y permite comparar la tasa de productos defectuosos respecto a la tasa de producción en un tiempo determinado.

$$IPA = \frac{Cantidad \text{ procesada} - cantidad \text{ defectuosa}}{Cantidad \text{ procesada}}$$

En donde, la cantidad defectuosa Ec. (5) indica la cantidad de producto que no cumplió las especificaciones en el periodo de evaluación.

$$Cantidad \text{ defectuosa} = R \text{ chazos} + Devoluciones \quad (5)$$



La importancia del cálculo de este índice radica en el hecho de identificar las causas de la generación de producto defectuoso, debido a que esta variable del indicador es la que determina el resultado de calidad

### Índice de disponibilidad ITO

ITO ecuación (6) significa índice de tiempo de operación y permite establecer mediante un porcentaje el tiempo que un equipo está disponible para operar en buenas condiciones.

$$ITO = \frac{\text{Tiempo de operación} - \text{tiempo perdido}}{\text{tiempo de operación}} \quad (6)$$

En donde,

$$T_{operación} = T_{ca} - T_{pnp} - T_{ppm} \quad (7)$$

Donde:  $T_{ca}$ , es el tiempo productivo por calendario;  $T_{pnp}$ , es el tiempo programado no productivo y  $T_{ppm}$ , es el tiempo programado para mantenimiento.

La importancia del cálculo de este índice radica en el hecho de identificar las pérdidas que afectan la disponibilidad de los equipos y procesos ya sea por causas internas o externas al proceso. Causas internas: pérdidas por averías, por ajustes y alistamientos. Causas externas: falta de energía, vapor entre otros.

### Índice de desempeño operacional IDO

IDO ecuación (8) significa Índice de Desempeño Operacional; permite comparar la producción actual del proceso o equipo con la producción de diseño ideal (estándar). La importancia del cálculo de este indicador radica en la detección de las principales pérdidas que afectan al proceso en el caso de no producir la cantidad de producto estipulado.

$$IDO = \frac{\text{tasa de producción actual}(real)}{\text{Tasa estándar de producción}} \quad (8)$$

La adecuada construcción de este indicador sumada al bloqueo de los generadores de baja confiabilidad mencionados anteriormente permite tener una adecuada información sobre las 6 grandes pérdidas que afectan a cada proceso: Paradas/Averías, configuración y ajustes, pequeñas paradas, reducción de velocidad, rechazos por puesta en marcha y rechazos de producción. Las dos primeras grandes pérdidas, paradas/averías y ajustes, afectan a la **disponibilidad**. Las dos siguientes grandes pérdidas, pequeñas paradas y reducción de velocidad, afectan al **rendimiento** y las dos últimas, grandes pérdidas afectan a la **calidad**. Una vez se ha logrado información confiable es posible disponer de una herramienta de soporte a la toma de decisiones, fomentando una cultura activa y beligerante respecto a las pérdidas de valor, que busque la eliminación sistemática de las mismas. Para el caso de la presentación y elaboración de los diferentes reportes se realizó una inspección para evaluar la exactitud y la forma en que se presenta la información. Es preciso señalar que no se presentaron inconvenientes con el

tratamiento de la información para la creación de los respectivos reportes. No obstante se solicitó la creación de campos para especificar las unidades a las que hacen referencia los reportes y totales de tiempo para completar la caja de horas o turno de trabajo. Estas modificaciones se hicieron en 15 de 19 reportes lo que equivale a un 78.94% de los informes presentados por el M.E.S.

### 5.4 Identificación de máquinas trabajando por debajo de su estándar

El sistema de control ofrece una herramienta que permite identificar máquinas trabajando por debajo de su velocidad estándar. La herramienta en cuestión consiste en la activación de una baliza en la envolvedora y la generación automática de un correo electrónico que tiene lugar cuándo la envolvedora está trabajando por debajo del estándar en un periodo de tiempo a definir. Para la asignación del tiempo y porcentaje de velocidad para la configuración de la alarma se optó por realizar una carta de control X-R para definir las causas asignables y las no asignables del proceso que inciden en la velocidad de operación de la envolvedora. El sensor registra el paso de unidades en un periodo de tiempo de 10 segundos y posteriormente proyecta la velocidad a un minuto. De tal forma que cuándo una pinza o mordaza de la cadena de arrastre no lleva producto, la cantidad de unidades que el sensor registra en los 10 segundos es menor por lo que la velocidad de la máquina se reduce. Por tal motivo para alcanzar una mayor eficiencia en las envolvedoras es necesario reducir o eliminar las causas que generan dichos espacios en la cadena de arrastre. Durante el muestreo para la elaboración de esta carta de control se ajustaron los parámetros de la envolvedora hasta tal punto que se eliminaron los espacios generados por causas asignables del proceso. Como por ejemplo: Inadecuada alimentación, falta de potencia en el vibrador, atasco de producto en la tolva, pinzas dañadas o pegadas, desajuste de tiempo entre el plato, la cadenilla de arrastre de la envolvedora y producto con varilla doblada en el plato. De acuerdo a lo anterior se establece las causas no asignables del proceso como aquellos espacios generados por: Bolas y producto deforme.

Las cartas de control X-R de los espacios generados por minuto en el proceso de envoltura se pueden observar en las Figuras 11 y 12. Los cálculos se hicieron tomando como referencia un rango de variabilidad de seis sigma [4]. Una observación por fuera de los límites de control sería explicada alguna de las causas asignables que se mencionaron, Gauri [6], Johnson y Geigner [8] y Linn, Au y Tsung [11], resaltan la importancia de disminuir la variabilidad generada por causas asignables, lo cual garantiza la consistencia del proceso en términos de mayor cantidad de elementos conformes. Por consiguiente cuándo la baliza se active el operario debe encontrar y eliminar la causa que está generando pérdida de velocidad. Por esto se define el periodo de tiempo para la activación de la alarma en 5 minutos y el porcentaje en 97% del estándar.

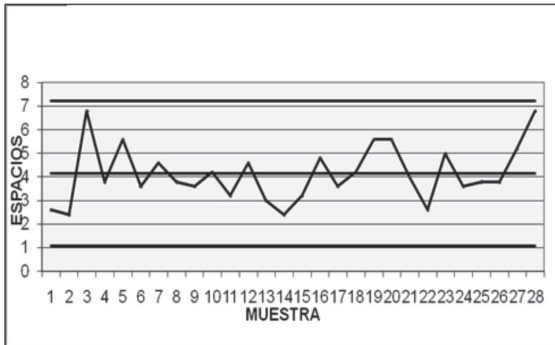


Figura 11. Carta de control X para espacios en cadena

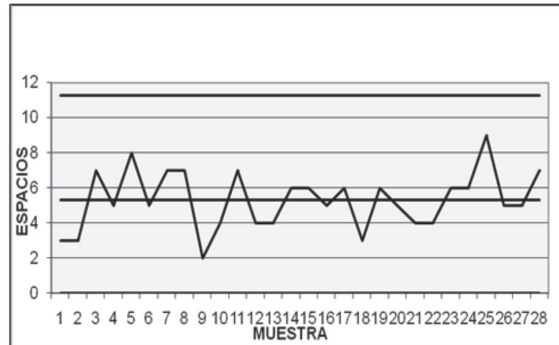


Figura 12. Carta de control R espacios cadena

**VI. RECOMENDACIONES**

Mediante el desarrollo de la metodología se identificaron y neutralizaron las variables asignables presentes en la captura y presentación de la información recopilada por el sistema de control. En la Tabla 9. Se presentan los inconvenientes encontrados así como las soluciones implementadas:

Para asegurar el buen funcionamiento del sistema de monitoreo y la veracidad en el registro de información es necesario realizar periódicamente muestreos en el conteo y registro de tiempo de los eventos de producción para comprobar que las medidas implementadas sigan presentando la efectividad necesaria que permite mantener la confiabilidad requerida. Para que las balizas cumplan sus propósitos es necesario revisar semanalmente la velocidad máxima de las envolvedoras debido principalmente a que la vibración de estos equipos lleva a que se pierda capacidad en las und/mi, por lo cual se hace necesario un ajuste en el potenciómetro por parte de mantenimiento eléctrico para poder garantizar el estándar.

Cuándo se trabaja con sensores es necesario revisar periódicamente si se encuentran en buen estado. Para detectar si el sensor está cumpliendo su objetivo es necesario aplicar una metodología y cronograma de revisión. Es importante dejar muy

claro que los sensores son la principal fuente de información ya que a partir de su captura se obtiene la información más relevante del proceso monitoreado. Comprometer todas las áreas que inciden en la toma de decisiones del proceso de envoltura para que tengan presente el impacto que generan las decisiones tomadas en el sistema de monitoreo principalmente en lo referente a la desconexión o movimientos de equipos que inhabilitan toda la operación de todo el sistema de control. El problema principal que limita la continuidad del proyecto es que las envolvedoras están conectadas en serie y el mover una implica desconectar todo el sistema. En la Tabla 10, se presenta una comparación que permite mostrar los avances alcanzados para convertir este sistema en una importante herramienta de gestión.

**VII. CONCLUSIONES**

El procedimiento de la ruta de la calidad aunque en ocasiones suele parecer una forma larga de solucionar un problema, en realidad es el camino más corto y más seguro. La utilización de este procedimiento en el desarrollo del presente estudio permitió alcanzar la confiabilidad en información necesaria que permitirá eliminar los reportes físicos de producción.

Tabla 9. Variables más incidentes en la baja confiabilidad del sistema

| Variable  | Problema   | Efecto  | Solución  | Efecto  |
|---|--|---|---|---|
| Registro sensor                                     | Presencia de ruido en la señal   | Conteo falso de unidades con una variabilidad de -0.35% a 24.32% comparado con el dato real     | Instalación de filtros de ruido para limpiar la señal   | Conteo más preciso error máximo de 0.09%  |
| Registro de tiempo eventos- sensor                  | Aumento del tiempo de evento de paro en 34 segundos que tarda en cambiar a Producción.   | El error en tiempo es proporcional a: Error = # paros equipo turno *30seg.                      | Aumentar el tiempo de cambio de Producción a paro en 30 segundos  | Desfase del intervalo real de ocurrencia del evento en 30 seg. Registro de tiempo de eventos preciso. |
| Registro de información Operarios.                  | Falta de capacitación y concientización sobre la importancia del sistema de control.   | Tiempo de eventos de paro sin reportar en promedio 71.75 min acumulados en el turno de 8 horas. | Desarrollo de capacitaciones y charlas de concientización.  | Disminución del tiempo de paro sin reportar en 13.786 min turno.                                      |
| Presentación de indicadores y reportes e producción | Cálculo errado de indicadores<br>Falta de un mismo idioma para presentar la información y tener claridad a que se hace referencia. | Inconsistencia en la presentación de la información   | Entrega al proveedor de modelos y solicitudes par el cálculo de indicadores y presentación de la información. | Consistencia en la presentación de la información.  |

Se identificaron y corrigieron las principales causas generadoras de error en la captura y registro de la información en el sistema de monitoreo, lo cual permitió pasar de un error promedio de 5.53% con un rango de variación de (-0.35% a 24.32%) a un error promedio de -0.03% con una variación de +- 0.06%. Por otro lado, también se identificó y corrigió el aumento de 34 segundos en la duración de cada paro. Esto permite establecer el verdadero tiempo de producción y de paro de cada equipo.

El sistema de monitoreo de la producción es una importante herramienta de control que permitirá medir y evaluar a través de indicadores el desempeño de las envolventoras de planta B así como la respectiva gestión del supervisor y servicio de mantenimiento encargado de este proceso principalmente por el cálculo de un OEE confiable una vez finalizado cada

turno de producción. También es importante la capacitación y concientización a los operarios de la importancia que merece el sistema de monitoreo así como la necesidad de su colaboración para alcanzar los objetivos propuestos permitió identificar y corregir inconvenientes en el proceso de captura de la información por parte del sensor y los módulos de captura. El desarrollo de este estudio permitió alcanzar la confiabilidad en información necesaria para llegar a pensar en eliminar los reportes físicos de producción y notificar a partir de la información presentada por el sistema de control de la producción. El paso siguiente consiste en estabilizar el sistema de monitoreo para lo cual es necesario revisar periódicamente que las acciones tomadas sigan asegurando el nivel de confiabilidad requerido en el sistema, así como la posible identificación y solución de inconvenientes que pueden llegar a surgir.

**Tabla 10.** Sistema de monitoreo antes y después

| ANTES  | DESPUÉS   |
|--|---|
| Pérdida de información códigos inválidos   | Base de datos actualizada. Se definió un procedimiento de actualización de códigos y estándares.            |
| Registro de unidades inexacto. Presencia de ruido en la señal del sensor generando conteo adicional de unidades. Error promedio 5,53% con un margen de error de (-0,35% a 24,32%). | Conteo de unidades con un promedio de error de -0,03% +- 0,06%  |
| Registro de tiempos de paro con un incremento de 34 segundos por paro.   | Registro de tiempos exacto. Se incurre en un desfase en el evento de 34 segundos.                           |
| Ingreso inoportuno de información referente a códigos de paro y producto.  | Mayor conciencia del operario en el ingreso de la información al sistema de monitoreo.                      |
| Cálculo errado de indicadores.   | Definición de principios y tratamiento de la información. Cálculo acertado de indicadores.                  |
| Reportes presentados por el sistema de monitoreo no muy claros.  | Cambio en la presentación de reportes y solicitud de reportes adicionales.                                  |
| Falta de integración de otras áreas incidentes en el funcionamiento del sistema de monitoreo.  | Vinculación y compromiso de otras áreas como mantenimiento en el correcto desempeño del sistema de control. |

El servicio de alarmas luminosas permitirá identificar aquellas máquinas trabajando por debajo de su estándar en un tiempo de 5 minutos. Esta opción que ofrece el sistema de monitoreo es muy importante porque permitirá establecer cuándo las causas asignables y no asignables del proceso están afectando nuestros planes y generando variaciones negativas en los costos de producción de los productos por lo cual es necesario tomar medidas correctivas. La implementación de este sistema de monitoreo y la posterior puesta en marcha evidenció que la compañía no estaba preparada para este cambio tecnológico sin embargo ya se han alcanzado importantes mejoras en la confiabilidad del sistema así como una respuesta afirmativa en cuanto al diligenciamiento de información de los operarios.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Anastasiou, K.S., 2003. Quality Improvement Strategy in the Electrical Supply Industry. *Quality Engineering*. Vol. 15 No 3. pp. 449 – 462.

[2] Askin, R.G. y Goldberg, J. B., 2001. *Design and Analysis of Lean Production Systems*. Jhon Wiley & Sons.  
 [3] Askin, R. G. y Standridge, C. R., 1998. *Modelling and Analysis of Manufacturing Systems*. Jhon Wiley & Sons.  
 [4] Besterfield, Dale., 1995. 4 Ed. *Control de Calidad*. Grupo editorial Pearson Prentice Hall.  
 [5] Dorf, R.C y Bishop, R. H., 2007. *Modern Control Systems*. Prentice Hall.  
 [6] Gauri, S. K., 2005. *Studies on the Reduction of Coefficient of Variation: A Case Study*. *Quality Engineering*. Vol 17 No 4. pp 633 – 640.  
 [7] Chaudhry, S. y Higbie, J. R., 1990. *Quality Improvement Through Statistical Process Control*. *Quality Engineering*. Vol 2 No 4. pp 411 – 419.  
 [8] Johnson, L. y Geigner, R., 2007. *Breakthrough Improvement for Your Inspection Process*. *Six Sigma Forum Magazine*. Vol 6 No 3. pp 22 – 27.  
 [9] Ledolter, J. y Swersey, A., 1997. *Dorian Shainin's Variables Search Procedure: A Critical Assessment*. *Journal of Quality Technology*. Vol 29 No 3. pp 237 – 247.  
 [10] Levinson, H., 1992. *Control and Improvement of Complex Processes*. *Quality Engineering*. Vol 5. No 1. pp 95 – 106.

- [11] Linn, R. J.; Au, E. y Tsung, F., 2002. Process Capability Improvement for Multistage Processes. *Quality Engineering*. Vol 15 No 2. pp 281 - 292.
- [12] Montgomery, D.C., 2005. *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley & Sons.
- [13] Nise, N. S., 2004. *Control Systems Engineering*. (4 ed). John Wiley & Sons.
- [14] Pyzdek, T., 1995. A Chronicle of a Quality Improvement Project. *Quality Engineering*. Vol 7 No 3. pp 471 – 480.