

**UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS “JOSÉ MARTÍ PÉREZ”
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES APLICADAS
CENTRO DE ESTUDIOS ENERGÉTICOS Y PROCESOS
INDUSTRIALES (CEEPI)**



**TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MÁSTER EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Análisis de variabilidad para minimizar pérdidas en producción
de leche pasteurizada Empresa Productos Lácteos**

Autor: Ing. Oslay Bravo Bernal

Tutora: Dra. C. Bismayda Gómez Avilés

2015

RESUMEN

La Empresa de Productos Lácteos “Río Zaza”, requiere de métodos para el análisis de la variabilidad del proceso de leche pasteurizada que, contribuya a la estabilidad en las características del producto final. En la investigación se identifican brechas y potenciales de mejora, a través del análisis del comportamiento estadístico del proceso. Se detectó inestabilidad del proceso en la operación de pasteurización, en la variable acidez de la leche pasteurizada, con la aplicación del Análisis Modal de Fallos y sus Efectos (AMFE), así como el Análisis Modal de Variaciones y Efectos. Como causas fundamentales de la variabilidad se detectaron: inadecuada temperatura de almacenamiento, baja presión de vapor, inestable temperatura de agua helada, ausencia de un guarda de temperatura, placas y juntas deterioradas, y baja presión de agua suave. La solución parte de los principios de la ingeniería de la calidad, que plantean los «Métodos de Taguchi», se estabilizaron las presiones de vapor y agua suave, así como la temperatura de agua helada, de esta forma se logró la robustez del proceso, con incidencia favorable en los resultados productivos y económicos de la empresa. La reducción de la variabilidad se expresa en la amplitud del Gráfico de Control (X- Rm), y la Función de Pérdida, estos resultados se documentan en el AMFE.

SUMMARY

“Río Zaza” Milk Products Company requires methods for the variability analysis of the process of pasteurized milk that contribute to the stability in the characteristics of the final product. In the investigation breaches and potentials of improvement are identified, through the analysis of the statistical behavior of the process. Uncertainty of the process was detected in the pasteurization operation, in the variable acidity of the pasteurized milk, with the application of the Modal Analysis of Failures and its Effects (AMFE), as well as the Modal Analysis of Variations and Effects. Fundamental causes of the variability they were detected: inadequate storage temperature, low steam pressure, unstable temperature of cold water, absence of temperature sensor, deteriorated plate and assembly, and low pressure of soft water. The solution resides in the principles of the engineering of the quality that outline the Methods of Taguchi", the steam pressures and soft water were stabilized, as well as the temperature of cold water, the robustness of the process was achieved by this way, with favorable incidence in the productive and economic results of the company. The reduction of the variability is expressed in the width of the Control Graph: (X - Rm), and the Loss Function, these results are documented in the AMFE.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	6
CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	9
1.1 Estrategia para la construcción del marco teórico y referencial	9
1.2 La concepción de la calidad basada en la variabilidad de los procesos	9
1.2.1 Enfoques de calidad orientadas al estudio de variabilidad como filosofía de gestión	10
1.3. Enfoque de proceso para la mejora de la calidad	13
1.3.1. La ingeniería de la calidad en el control de proceso	15
<i>Rediseñar los procesos</i>	17
1.3.2. Herramientas para los estudios de reducción de variabilidad en los procesos industriales	19
1.4. Industria de alimentos. Particularidades en Cuba	20
1.4.1. Perspectivas y exigencias del proceso productivo. Elaboración de la leche pasteurizada	22
1.5. Conclusiones parciales	27
CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL ANÁLISIS DE VARIABILIDAD EN EL PROCESO DE LECHE PASTEURIZADA	29
2.1. Introducción	29
2.2 Métodos para el análisis de variabilidad de procesos	29
2.2.1. El Análisis Modal de Fallos y sus Efectos.	30
2.2.2. Revisión y análisis estadísticos de las variables	34
2.2.3 Análisis modal de variaciones y efectos (VMEA)	37
2.3. Análisis de la contribución a la reducción de pérdidas en la producción	41
2.4 Conclusiones parciales	42
CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE VARIABILIDAD EN EL PROCESO DE LECHE PASTEURIZADA	43
3.1. Introducción	43
3.2. El Análisis Modal de Fallos y sus Efectos	43
3.3. Revisión y análisis estadísticos de las variables del proceso de leche pasteurizada ...	49
3.4. Análisis modal de variaciones y efectos (VMEA)	53
3.5. Análisis de la contribución a la reducción de pérdidas en la producción	56
3.4. Conclusiones parciales	65



CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Calidad de Taguchi, constituye una combinación de métodos estadísticos y de ingeniería para conseguir rápidas mejoras en costos y calidad mediante la optimización del diseño de los productos y sus procesos de fabricación.

En el sector de la industria de alimentos, se observa una tendencia de búsqueda de mejora continua de la calidad para sus productos, hecho que responde al creciente desarrollo del mundo moderno, donde se exige no solo su seguridad desde el punto de vista de la inocuidad, sino un alcance mucho mayor, pues el término calidad, incluye además de la seguridad del alimento, lo relativo a la apariencia, presentación, diseño, atractivo visual, competitividad, garantía para la comercialización (Antonio García, 2004)

Las transformaciones que el proceso de actualización del modelo económico y social del país está impulsando en el sector agroalimentario, requieren mejorar y adaptar los mecanismos de planificación y gestión. Más allá de la necesaria capitalización del sector, la adopción de instrumentos y técnicas más adecuada de producción, organización empresarial, planificación estratégica y económica, representan elementos indispensables para garantizar los resultados asociados a cualquier tipo de inversión que el país realice con recursos propios o de la cooperación internacional (MINCEX, 2014).

Los desafíos de los productos perecederos que requieren un procesamiento industrial están relacionados en lo fundamental con: (1) hacer mínimo el tiempo de procesamiento; (2) la necesidad de robustecer los productos y procesos; (3) que la variación entre diferentes unidades de un mismo producto sea mínima (Cuevas, 2008)

En ese contexto el establecimiento Pasteurizadora de la Empresa de Productos Lácteos Río Zaza de Sancti Spíritus, desarrolla sus propias estrategias de gestión y organización de la calidad, en correspondencia con las exigencias que implican el nuevo Modelo económico y los Lineamientos de la política económica y social del país (Partido Comunista de Cuba, 2011), con la definición de objetivos y normas, para implementar en el aseguramiento de la

calidad de las producciones; sin embargo estos esfuerzos no se reflejan en el producto final que la población recibe. Las ineficiencias del proceso de pasteurización inciden en las características de calidad de la leche, e implican elevados costos de producción, de forma se caracteriza la **situación problemática** de la investigación.

Por lo que se define como **problema científico**: la carencia de enfoque de proceso para la explicación de la variabilidad, limita la reducción de pérdidas en la producción de **leche pasteurizada** en el establecimiento Pasteurizadora de la Empresa de Productos Lácteos Río Zaza de Sancti Spíritus.

Objetivo general: Implementar el análisis de variabilidad en el proceso Leche Pasteurizada, para contribuir a la reducción de pérdidas en la producción, en el establecimiento Pasteurizadora de la Empresa de Productos Lácteos Río Zaza de Sancti Spíritus.

Los **objetivos específicos** a alcanzar son:

1. Construir el marco teórico y referencial de la investigación, que fundamente teóricamente, la mejora de la calidad en procesos industriales de producción de alimentos, a través del análisis de variabilidad.
2. Fundamentar el análisis de variabilidad en procesos industriales de producción de alimentos para detectar las áreas críticas en términos de los efectos de una variación no deseada, a partir de los criterios de: impacto en el costo final, conformidad con los requisitos de consumo.
3. Evaluar la contribución a la reducción de pérdidas del proceso, lograda con la disminución de variabilidad en la producción de Leche Pasteurizada del establecimiento Pasteurizadora de la Empresa de productos Lácteos Río Zaza de Sancti Spíritus.

Hipótesis: la aplicación de análisis de variabilidad en la explicación de la variabilidad en el proceso Leche Pasteurizada, contribuirá a la reducción de pérdidas en la producción, en el establecimiento Pasteurizadora de la Empresa de Productos Lácteos Río Zaza de Sancti Spíritus.

Objeto de estudio: mejora de la calidad en procesos industriales.

Campo de acción: análisis de variabilidad en el proceso de producción de Leche Pasteurizada.

Para llevar a cabo los objetivos, la estructura del trabajo se ha diseñado de la siguiente forma:

_ **Capítulo I. Marco Teórico Referencial.** En este capítulo se plasma la búsqueda de las literaturas relacionadas con el tema a tratar (estado del arte), así como la teoría de utilidad e importancia para la investigación. Para ello se consultaron fuentes primarias y terciarias.

_ **Capítulo II. Fundamento teórico para el análisis de variabilidad en el proceso de leche pasteurizada**

En este capítulo se establece la teoría que permite el desarrollo conjunto de varios métodos de análisis de variabilidad en el proceso de leche pasteurizada. Se desglosan específicamente el AMFE y el VMEA.

_ **Capítulo III. Análisis de variabilidad en el proceso de leche pasteurizada.**

En este capítulo se desarrollan los métodos AMFE y VMEA para reducir la variabilidad en el proceso de obtención de leche pasteurizada.

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Estrategia para la construcción del marco teórico y referencial

En el marco teórico y referencial (figura 1.1) se abordan tres aspectos fundamentales:

- concepción de la calidad basada en la variabilidad de proceso;
- enfoque de proceso para la mejora de la calidad, la ingeniería de la calidad en el control de proceso; y
- los procesos de producción de alimentos, se destacan las oportunidades de mejora que en específico pueden resultar en la Empresa de Productos Lácteos “Río Zaza”.

Con este análisis el autor establece las bases teóricas para el desarrollo de la investigación, y define la necesidad de mejorar el control del proceso en la Empresa objeto de estudio.

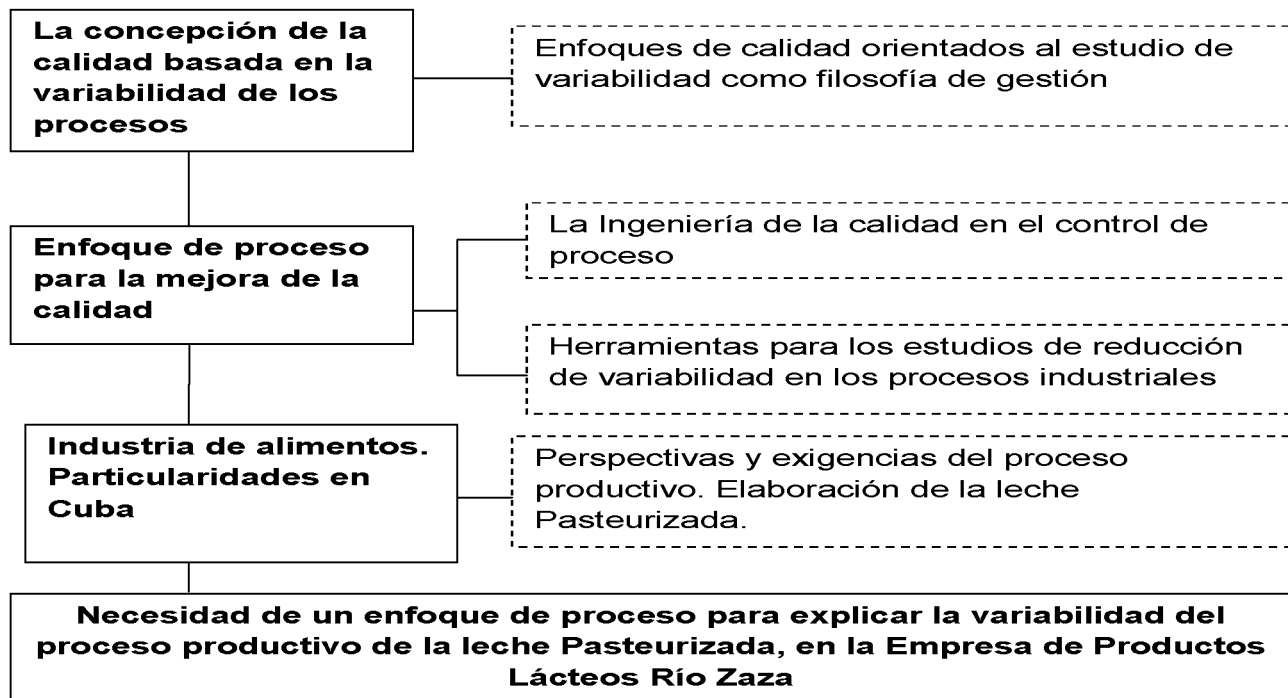


Figura 1.1. Hilo conductor del marco teórico referencial de la investigación.

1.2 La concepción de la calidad basada en la variabilidad de los procesos

En la industria una variación no deseada es un problema serio, pero todavía hoy es una realidad como se refleja en la cantidad de ahorros que, hacen numerosos programas de reducción de la variación (Juran, Godfrey, Hoogstoel, & Schilling, 2001). En estos programas, siempre desarrollados bajo la filosofía Six Sigma, ahorran billones de dólares al año, además

de una mejora de la fiabilidad y un aumento de la satisfacción del cliente. Aunque como tradición, el principal enfoque de estos programas es la reducción de la variación en la fabricación, en los últimos años se observa un creciente interés en gestionar la variación en fases más tempranas del desarrollo del producto. Para lograr esto con éxito, los factores de ruido deberían ser identificados y examinados en términos de sus impactos en las características principales del producto (Montgomery, 2005; Ramiro González, 2005)

Taguchi define como *ruido* a las causas que provocan un desvío del objetivo en una característica de la calidad, que a su vez implica pérdida de calidad, ruido es variabilidad.

Factores de ruido son los factores que causan variaciones, son generalmente incontrolables, los factores *externos* de ruido, ocurren fuera del producto; partes críticas de un producto que se deterioran, y la variabilidad unidad a unidad en los productos fabricados (Besterfield, 2009)

Un *buen diseño* es aquel que traslada de forma completa y con éxito las especificaciones y necesidades del cliente a las características de funcionamiento del producto o proceso. En este sentido, un buen ingeniero de diseño tiene la capacidad de desarrollar un producto/proceso que cumpla con su función según las necesidades del cliente, a pesar del ruido esperado (Bravo Carrasco, 2009a)

Un *artículo con buena calidad* es aquel que realiza sus funciones intencionales sin variabilidad, y causa pequeñas pérdidas a través de los defectos de tipo dañinos, incluso el costo de usarlo. Si el control de costo se preocupa por reducir las diferencias antes de que el producto sea enviado, el control de calidad se preocupa por reducir los dos tipos de pérdidas que puede causar a la sociedad después de que se envía (Ramiro González, 2005).

1.2.1 Enfoques de calidad orientadas al estudio de variabilidad como filosofía de gestión

Cuando la literatura especializada refiere el enfoque *Seis Ceros*, plantea el objetivo de obtener: cero defectos, cero stocks, cero averías, cero plazos, cero papeles y cero accidentes, Ramiro & González (2005), argumenta que dicho enfoque se centran en:

1. Mejora de procesos: medir es necesario pero no suficiente con el tiempo, para estimular a las personas a que realicen cambios; una vez que se detectan los potenciales de mejora, se ponen en práctica los instrumentos y capacidades para mejorar estos procesos.

2. Mejora de productos: «Seis Sigma» permite establecer un sistema de mejora continua de productos; y se puede ir mucho más allá, por ser un apoyo excelente para el Diseño Robusto de Productos y para una dinámica de simplificación de éstos.
3. Sistemática para la resolución de problemas: cuando se presenta un problema en un proceso, lo normal es acudir a experiencias pasadas para encontrar soluciones o buscar causas, luego acudir a procedimientos de análisis.

La filosofía «Seis Sigma» dirige sus esfuerzos a tres áreas principales: mejorar la satisfacción del cliente; reducir el tiempo del ciclo y reducir los defectos. Las mejoras en estas áreas representan importantes ahorros de costos, oportunidades para retener a los clientes, capturar nuevos mercados y construirse una reputación de empresa de excelencia. Como concepción técnica, calidad «Seis Sigma» equivale a un nivel de calidad con menos de 0,000003 defectos por oportunidad (3 defectos por millón de oportunidades). No existe una regla, inmediata, sencilla y fácil para alcanzar tal nivel de calidad, al respecto esta filosofía aporta las metodologías que ayudan a alcanzar tal objetivo.

- A corto plazo aporta soluciones rápidas a problemas sencillos o repetitivos.
- A largo plazo aporta una metodología de diagnóstico, Diseño Robusto, establecimiento de tolerancias, y un medio sencillo de comunicación y definición de metas.
- Aporta herramientas de mejora: diseño de experimentos, análisis de regresión, tolerancias, Diseño Robusto y otros métodos sistemáticos para reducir la varianza (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004)

Por su parte el sistema integrado de Ingeniería de Calidad de Taguchi, se reconoce como un gran logro en ingeniería del siglo XX; con este se inicia el movimiento de Diseño Robusto en Japón hace 30 años. Su contribución más importante es combinar métodos estadísticos y de ingeniería para conseguir rápidas mejoras en costos y calidad, mediante la optimización del diseño de los productos y sus procesos de fabricación; con la Función de Pérdida y la relación Señal/Ruido, se evalúa la funcionalidad del producto durante las etapas tempranas de su desarrollo, cuando se tiene tiempo de realizar mejoras al mínimo costo (Ramiro & González, 2005)

El modo más efectivo de evitar los efectos perjudiciales de la variación y su habilidad para afectar a las expectativas de los clientes, es diseñar productos y procesos de forma que disminuya la sensibilidad de éstos productos a la variación y sin incurrir en gastos extra. Taguchi sugiere que el remover los efectos es muchas veces más barato, que eliminar las causas, y resulta más efectivo para producir un producto consistente; de esta forma se

garantiza que las pequeñas variaciones en materiales y procesos no destruyen la calidad del producto. El Diseño Robusto tiene dos dimensiones:

1. comprender las necesidades del cliente y lo que espera;
2. conocimiento del riesgo que se corre cuando se toman ciertas decisiones (elemento de compensación entre la calidad y los costos); consiste en lograr los objetivos de calidad fijados, teniendo en cuenta los costos admisibles.

En los últimos años la reducción de la variabilidad de cualquier característica de calidad, es una preocupación de los ingenieros de diseño, fabricación y cualquier profesional de la calidad. La indiferencia ante la variabilidad por parte de la empresa, origina desechos y reproceso que son necesarios para mantener el producto dentro de especificaciones. Ambos factores: insatisfacción del cliente y los costos derivados de esos desechos y reprocesados, determinan un bajo valor de los productos que es imprescindible mejorar. Los desafíos que deben afrontar las industrias en un ambiente competitivo son muchos:

- El impulso para minimizar el tiempo de preparación del producto hasta que sale al mercado (TTM: Time To Market). Los ciclos de vida del producto se acortan, por lo que es necesario una rápida salida al mercado. Esto es una verdad particular de los productos tecnológicos.
- La necesidad de robustez en los productos y los procesos, la habilidad de ser capaz de hacer entrega de productos y procesos con un nivel de calidad «Seis Sigma» consistente.
- El cliente no quiere ninguna variación entre diferentes unidades del mismo producto. Así que es importante producir productos que siempre cumplan con las características especificadas (Bravo Carrasco, 2009b)

Estos autores refieren que por el momento se dispone de las metodologías de «Seis Sigma», y de la Metodología de Diseño Robusto (siglas en inglés: RDM), la diferencia está en que la primera hasta ahora se centra en lo fundamental en minimizar la variación en la producción, y la segunda se enfoca a minimizar la variación durante el diseño de los productos y los procesos, aunque el concepto de «Seis Sigma» (DFSS), tiene gran semejanza con la RDM. Las metodologías: DIMAIC y DMADV, de «Seis Sigma», reaccionan ante eventos no deseados y lo solucionan, mientras que el DFSS, previene eventos no deseados; pero todavía es un concepto nuevo y falta desarrollarlo, sobre todo es conceptual. (Ramiro & González, 2005), refieren las dos estrategias básicas, que en este contexto se desarrollan para controlar el efecto de los *factores de ruido*:

- controlar los factores de ruido, y
- crear un diseño robusto en el que los factores de ruido no tengan efecto sobre el funcionamiento.

1.3. Enfoque de proceso para la mejora de la calidad

Los procesos se consideran como la base operativa de gran parte de las organizaciones, y constituyen la base estructural de un número creciente de empresas. Esta tendencia llega después de las limitaciones puestas de manifiesto en diversas soluciones organizativas, en sucesivos intentos de aproximar las estructuras empresariales a las necesidades de cada momento.

Así las organizaciones *de tipo funcional* generaron altos niveles de eficacia en las operaciones especializadas que se abordan por cada función, a menudo a costa de la eficacia global de la empresa y de una comunicación poco fluida entre las distintas funciones. Las organizaciones *de tipo matricial*, un gran avance en teoría, diseñadas para optimizar el empleo de las capacidades humanas, integrarlas en equipos *ad hoc* para cada proyecto o nueva actividad, y conocimientos disponibles en la empresa, encontraron muchas dificultades en su aplicación práctica (Bravo Carrasco, 2012)

El éxito de las industrias japonesas, bien patente a partir de los años setenta y ochenta, propició la aplicación de modelos de organización productiva, como:

Just in time o kanban. Su aplicación ha producido resultados económicos sorprendentes en los países occidentales, pero son modelos limitados, por centrarse en empresas manufactureras de grandes series, y por requerir proveedores de piezas ligadas a las fábricas productoras de los equipos o sistemas finales.

Tanto el modelo matricial como los de origen japonés ya apuntaban a la importancia de los procesos, como base sobre la que desarrollar políticas y estrategias operativas sólidas. Esto dio origen a estudios sobre las posibilidades de los procesos, como base de gestión de la empresa, y adecuación a los mercados actuales, cada vez más cerca del mercado global y, como consecuencia, *su capacidad* de contribuir de forma sostenida a los resultados, siempre que la empresa diseñe y estructure sus procesos pensando en sus clientes.

Los procesos, en este contexto, se pueden definir como secuencias ordenadas y lógicas de actividades de transformación, que parten de unas entradas (informaciones en un sentido amplio —*pedidos datos, especificaciones*—, más medios materiales —*máquinas, equipos,*

materias primas, consumibles, etcétera) —, para alcanzar unos resultados programados, que se entregan a quienes los solicitan, los clientes de cada proceso.

Estos procesos, al requerir un conjunto de entradas materiales e inmateriales, estructurados en actividades que transforman las entradas, cruzan los límites funcionales de forma frecuente; por lo que fuerzan la cooperación y crean una cultura de empresa distinta, más abierta, menos jerárquica, más orientada a obtener resultados que a mantener privilegios.

A estas ventajas de preparación para el entorno actual, incierto y cambiante, se debe añadir la importante característica de que los procesos son altamente repetitivos. Su mejora exige una reflexión y planificación previas y la dedicación de unos medios, a veces considerables, pero proporciona un gran retorno sobre esas inversiones (ROI) realizadas. (Zaratiegui, 1999)

La visión de procesos es una forma integradora de acercamiento a la organización, es una forma de comprender la compleja interacción entre acciones y personas distantes en el tiempo y el espacio. La gestión sistémica de procesos identifica los procesos de la empresa para agregar valor a los clientes y cumplir con la estrategia del negocio (Min, Shengkui, Jianbin, & Chunbo, 2014)

La gestión de procesos con base en la visión sistémica apoya el aumento de la productividad y el control de gestión para mejorar en las variables clave, por ejemplo, tiempo, calidad y costo. Aporta conceptos y técnicas, tales como integralidad, compensadores de complejidad, teoría del caos y mejoramiento continuo, destinados a concebir formas novedosas de cómo hacer los procesos. Ayuda a identificar, medir, describir y relacionar los procesos, luego abre un abanico de posibilidades de acción sobre ellos: describir, mejorar, comparar o rediseñar, entre otras. Considera vital la administración del cambio, la responsabilidad social, el análisis de riesgos y un enfoque integrador entre estrategia, personas, procesos, estructura y tecnología (Bravo Carrasco, 2009b)

En una organización orientada a los procesos, la dirección determina las necesidades de cada uno de los grupos de interés de la empresa, y establece los procesos necesarios para poder satisfacer esas necesidades. El reto está entonces, en atraer la atención de todos y en concentrar los esfuerzos en el output final del proceso, y no en proporcionar información que no aporte valor añadido (Bravo Carrasco, 2012; Trischler, 2000)

1.3.1. La ingeniería de la calidad en el control de proceso

El objeto del control de calidad y la mejora continua es realizar actividades recurrentes para incrementar la habilidad para cumplir con requerimientos, o sea, implementar la mejora continua en las características de calidad. Para esto se aplican acciones preventivas y correctivas; las primeras sirven para eliminar la causa de una potencial inconformidad u otra situación potencial indeseable, prevenir ocurrencia. Las segundas son para eliminar la causa de la inconformidad detectada, previene recurrencia (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004)

La ingeniería de la calidad es necesaria para el control de los procesos, ya que la gestión de procesos considera tres grandes puntos de acción sobre los procesos: describir, mejorar y rediseñar. Esto implica el control.

Para (Bravo Carrasco, 2009b) una buena parte de la motivación es describir o documentar procesos para perfeccionarlos, y que respondan a una lógica actualizada, consistente y que se transformen en estándares, se intenta que se usen como prácticas efectivas.

Describir los procesos

Un objetivo deseable es tener procesos documentados, actualizados y consistentes que capitalicen el conocimiento de la organización.

Algunas características de la descripción de procesos son:

- Un proceso bien descrito puede ser comunicado y enseñado, refuerza las posibilidades de la capacitación y de la inducción.
- En la misma línea, cuando los procesos están descritos se puede confeccionar un plan de capacitación más rico y consistente.
- Se tiene la visión de conjunto de las actividades, en lugar de “compartimentos estancos”, o visión en “feudos”.
- Se puede llevar un mejor control de costos.
- Es una oportunidad de reforzar la comunicación y la participación, ya que la descripción de procesos requiere del aporte de todos.
- Se logra mejor control con el conocimiento de cómo se hacen las cosas, se refuerza el trabajo de la auditoría de procedimientos.
- Se incrementa la posibilidad de estandarización y normalización, con la descripción es posible comparar con otros procesos.

- Cuando el trabajo es conocido, se incrementa la posibilidad de trabajar en equipo y hay menores motivos de conflicto. En consecuencia, aumenta la motivación.
- Se obtiene “de regalo” dejar en evidencia el cambio obvio, porque un proceso descrito se hace visible, deja de estar operado en forma subconsciente, con “piloto automático”.
- También queda en evidencia cuáles son los procesos más rentables, aquellos donde hay que poner énfasis.
- El trabajo se orienta a describir lo que se hace y a garantizar que así se hace.
- Junto con conocer los procesos se pueden aplicar algunas fórmulas de costo.
- Permite dejar bien establecidas las fronteras y responsabilidades.
- Es el mínimo exigido en las normas de calidad y auditorías de procedimientos.
- Se puede acceder a la certificación en normas de calidad: ISO 9000, CMM y otras.

Mejorar los procesos

La idea es perfeccionar lo que se hace. En organizaciones con una cultura de participación, ésta es una opción en cierto sentido fácil de implementar.

Mejorar los procesos incluye practicar Benchmarking, es decir, comparar procesos propios con las mejores prácticas, y así aprender y mejorar. El Benchmarking puede considerarse que está a medio camino entre mejorar y rediseñar, porque los cambios que se proponen a veces son tan grandes que pueden transformar de forma total un proceso.

La mejora de procesos exige la descripción previa de los procesos, por lo tanto, es una línea de trabajo que se complementa con la anterior (describir los procesos).

Algunas características de la mejora de procesos:

- Normalmente el cambio es pequeño.
- Se busca perfeccionar los detalles del proceso existente, para mejorar en aspectos bien estudiados de costo, eficiencia, resultados, tiempo, calidad de atención.
- Se habla del cliente interno y su satisfacción.
- El cliente interno es quien realiza el siguiente paso de una serie que concluye en el cliente externo.
- Comienza algún nivel de cuestionamiento de por qué se hace de esa manera y mejor aún, para qué se hace.
- Desde el comienzo del proyecto se discuten nuevas actividades, tareas y procedimientos relacionados con el proceso.

- Se aprecia una orientación más al interior del proceso, a mejorar sus detalles.
- Se tiende a crear equipos de trabajo con las mismas personas que realizan o dirigen un proceso.
- A veces se forman grupos más bien permanentes que vigilan los procesos y hacen mejora continua, son círculos o comités de calidad dirigidos desde un departamento de gestión de calidad.

Rediseñar los procesos

Se hace rediseño de procesos para obtener un beneficio mayor, con la probable consecuencia de que el cambio en el proceso también sea grande. Por lo tanto, es preferible no entrar demasiado al detalle del funcionamiento previo del proceso, es suficiente con una descripción general.

Como la meta del equipo no es mejorar el proceso existente, no necesita analizarlo y documentarlo para exponerlo en todos sus detalles. Lo que necesita es más bien una visión de alto nivel, apenas lo suficiente para obtener la intuición y la penetración necesarias para crear un diseño nuevo y superior. Uno de los errores más frecuentes que se cometen en esta etapa de reingeniería es que los equipos tratan de analizar un proceso en sus más mínimos detalles en lugar de tratar de entenderlo”.

Una definición de rediseño de procesos es: identificar los procesos, las variables críticas y valores idealizados que interesan a los clientes. Inventar propuestas consistentes, con responsabilidad social y en armonía con el propósito de la organización.

Con algunas precisiones:

- En rediseño de procesos, *el cliente es el cliente externo*, a quien está destinado nuestro producto y quien nos provee de ingresos.
- *Propuestas consistentes* se refiere a proyectos factibles desde el punto de vista, técnico, social y económico, que satisfagan los valores idealizados de las variables críticas. Son propuestas que incluyen la buena implementación.
- La *responsabilidad social* es fundamental, porque se trata de generar propuestas que no afecten el empleo, el ambiente, la seguridad, la calidad o el nivel de servicio durante el desarrollo del proyecto.

- El *propósito de la organización* incluye visión, misión, valores y alinear intereses entre los diferentes grupos con que se relaciona: clientes, dueños, trabajadores, administradores, proveedores y muchos otros.

Se hace rediseño porque se quiere mejorar en mucho los resultados de variables críticas: el tiempo de espera, el costo, el tiempo del ciclo, la imagen. Entonces, el rediseño permite obtener un gran avance que requiere un gran cambio.

Algunas características del rediseño de procesos son:

- Se busca elevar en gran medida la satisfacción del cliente, lo cual obliga a repensar el proceso y aplicar técnicas de idealización que normalmente conducen a cambios mayores en el proceso. Se habla del cliente externo, las personas que generan ingresos para la organización.
- Se busca eliminar los pasos intermedios y trabajar con personas o equipos que ofrezcan un servicio integral al cliente.
- La idea básica es lograr resultados mucho mejores en las variables críticas para el cliente del proceso (tiempo de atención, costo del servicio), y así elevar su nivel de satisfacción.
- Una vez que el proceso está rediseñado, la formalización puede ser equivalente a la utilizada en aseguramiento de la calidad.
- Al inicio del proyecto conviene describir de forma superficial lo que existe para no sesgar la nueva propuesta con la realidad actual.
- Existe una orientación hacia el exterior del proceso, por ejemplo: deleitar al cliente, elevar el nivel de competitividad o lograr armonía con el propósito de la organización.
- Es normal que exista una alta participación externa que aporta ideas frescas y ayuda a remecer la organización, es el “efecto consultor” (Bravo Carrasco, 2009b)

1.3.2. Herramientas para los estudios de reducción de variabilidad en los procesos industriales

Para los estudios de calidad existen numerosas herramientas y técnicas. (Fernández Hatre, 2005) Trata específicamente cinco:

- Análisis Modal de Efectos y Fallos (AMFE)
- Despliegue de la función Calidad (siglas en inglés: QFD)
- Benchmarking
- Comakership.
- Reingeniería.

No obstante, estas no son las únicas. Para los estudios de variabilidad existen otras. Una de las más conocidas es Seis Sigma, más que herramienta, como filosofía de gestión. Para la aplicación de esta filosofía, (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004) propone un conjunto de herramientas.

Diagrama de Pareto. La viabilidad y utilidad general del diagrama está respaldada por el llamado principio de Pareto, conocido como “Ley 80-20” o “Pocos vitales, muchos triviales”, el cual reconoce que unos pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%). Algunas recomendaciones para realizar el análisis de Pareto son:

Diagrama de Ishikawa. Método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. La importancia de este diagrama radica en que obliga a contemplar todas las causas que pueden afectar el problema bajo análisis, y de esta forma se evita el error de buscar de forma directa las soluciones sin cuestionar a fondo cuáles son las verdaderas causas. Se utilizan tres métodos fundamentales para construir este diagrama: 6M’s, método flujo del proceso, método de estratificación o enumeración de causas.

Lluvia de ideas. Es una forma de pensamiento creativo encaminada a que todos los miembros de un grupo participen libremente y aporten ideas sobre determinado tema o problema. Esta técnica es de gran utilidad para el trabajo en equipo, debido a que permite la reflexión y el diálogo sobre un problema sobre una base de igualdad.

Diagrama de dispersión. Es una gráfica del tipo X-Y cuyo objetivo es analizar la forma en que dos variables numéricas están relacionadas, como la variación en una variable de entrada de un proceso, con relación al valor de alguna característica de calidad del producto final.

Mapeo de procesos. Representación gráfica de un proceso en la que se ilustran en forma detallada todos los pasos del proceso, tanto los que agregan valor como los que no, también se identifican las variables claves del proceso, tanto de entrada como de salida. El propósito es identificar los sistemas de medición que requieren ser analizados, establecer las variables críticas para la calidad que es necesario estudiar su capacidad, identificar oportunidades para simplificar el proceso, ya sea eliminando pasos o identificando cuellos de botella.

Los mapeos de procesos se pueden hacer a tres niveles: macro (toda una organización), nivel local (todo un proceso) o nivel micro (un subproceso en particular). Los símbolos para realizar un mapa de proceso se muestran en la figura 1.2.

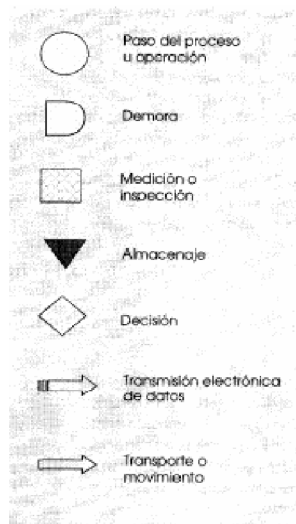


Figura 1.2 Símbolos para el mapeo de procesos. Fuente: (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004)

1.4. Industria de alimentos. Particularidades en Cuba

Los consumidores, tanto de los países en desarrollo como de los países desarrollados, demandan productos alimenticios saludables y de alta calidad, a precios razonables y que los satisfagan .

Los consumidores además necesitan ser protegidos de enfermedades relacionadas con los alimentos y los productores, los manipuladores, los elaboradores y los comerciantes como es obvio se benefician del incremento de la confianza de los consumidores, y las consecuentes ventas. Por estas razones, todos los países necesitan asegurar que los

alimentos no sean solo aceptables y adecuados desde el punto de vista nutricional y sanitario, sino que los consumidores los puedan obtener en el momento oportuno, en cantidad, disponibilidad y accesibilidad adecuadas, que cumplan las características de calidad e inocuidad.

Las estrategias de control de los alimentos que se proponen y ejecutan tienen como fin asegurar la calidad e inocuidad de los alimentos, desde la producción hasta el consumo. La FAO, como agencia especializada del sistema de las Naciones Unidas, es responsable por múltiples aspectos de la calidad e inocuidad alimentarias, y por años lleva a cabo actividades que proporcionan asesoramiento sobre políticas, generan y diseminan información, y ejecutan proyectos para la formación profesional y técnica, que ayuda a los países a asegurar un abastecimiento alimentario completo, satisfactorio e inocuo. Esta institución comenzó a desarrollar una «Estrategia para un Abastecimiento Alimentario Inocuo y Nutritivo», donde se discuten elementos claves de asesoramiento de políticas, formación profesional, asistencia técnica y acciones requeridas para satisfacer ese objetivo. Esta estrategia se basa en el enfoque de la cadena alimentaria, ligado a la inocuidad y calidad de los alimentos, e incluye los aspectos nutricionales (Cuevas, 2008).

La cadena láctea de América Latina y el Caribe, entendida como la sucesión de segmentos que arrancan con la provisión de insumos, la producción primaria, la industrialización y distribución de productos, hasta llegar a millones de consumidores nacionales y extranjeros, es un sector de gran importancia económica, social y territorial en casi todos los países de la región.

A pesar de obvias diferencias en sus características estructurales y en su desempeño, la cadena trabaja en forma coordinada, comparte información y promueve la importancia sectorial, desde hace más de 20 años, en lo fundamental en el ámbito de la Federación Panamericana de Lechería (FEPALE), y otros ámbitos subregionales como la Federación Centroamericana de Lácteos (FECALAC).

En el marco de los profundos cambios que ocurren en el escenario agroalimentario internacional, la generación de nuevas condiciones de articulación entre la región y el mundo, y como un aporte para el desarrollo de la cadena, desde la FEPALE, se promueve la formación de un Observatorio de la Cadena Láctea de América Latina y el Caribe, como una iniciativa orientada a la provisión de información básica, de análisis y de construcción de

escenarios de mercados (en un sentido amplio) que sirvan como insumo para la toma de decisiones privadas y públicas por parte de proveedores de insumos, productores de leche, industrializadores, entidades representativas, gobiernos nacionales y entidades supranacionales (Colectivo de autores, 2012)

1.4.1. Perspectivas y exigencias del proceso productivo. Elaboración de la leche pasteurizada

La industria alimentaria es la encargada de la elaboración, transformación, preparación, conservación y envasado de los alimentos de consumo humano y animal. Las materias primas se concentran en los productos de origen vegetal (agricultura), animal (ganadería) y fúngico, principalmente. El aumento de producción está unido con un esfuerzo progresivo en la vigilancia de la higiene y de las leyes alimentarias de los países, por lo que se intenta regular y unificar los procesos y los productos.

Los procesos habituales de la elaboración de alimentos, tienen como objeto la transformación inicial del alimento crudo para la obtención de otro producto distinto y transformado, generalmente más adecuado para su ingesta. Algunos de los procesos de elaboración tienen su fundamento en la conservación del alimento. Esta fase es vital ya que los procesos de conservación en la industria alimentaria tienen por objeto la interrupción de la actividad microbiana y prolongar la vida útil de los alimentos. Para ello se tiene la posibilidad de trabajar con tres variantes:

- Pasteurización
- Esterilización
- Acción química

Algunos procesos de conservación de alimentos pretenden sin embargo inhibir el desarrollo de los microorganismos:

- Refrigeración
- Deshidratación

La industria alimentaria tiende a evolucionar hacia una mayor concentración y tecnificación. Se inclina de forma creciente por productos más elaborados, con oferta orientada a las comidas preparadas y precocinadas. Esta tendencia viene dada por la mayor calidad de vida y creciente prosperidad de los habitantes de países desarrollados, los cuales dedican menor cantidad de ingresos a la adquisición de alimentos crudos o no elaborados. Aunque existe

una gran cantidad de alimentos que pueden ser consumidos crudos, como por ejemplo la fruta, la mayoría requiere un procesamiento que le permita más seguridad y mayor tiempo de conservación, además de apetecible al paladar. Para ello se utiliza la tecnología de los alimentos, que suele estar supervisada dentro de las empresas por personal científico y técnico. Los consumidores, tanto de los países en desarrollo como de los países desarrollados, demandan productos alimenticios saludables y de alta calidad, a precios razonables y que los satisfagan plenamente (Colectivo de autores, 2011)

Existe una creciente necesidad por parte de los gobiernos, la industria alimentaria mundial y los consumidores de mantener altos estándares nutricionales y de calidad, que permitan el acceso a alimentos cada vez más inocuos. Esta tendencia no solo posee un enfoque dirigido al mejoramiento de la salud pública, sino que también permite acceder a los cada vez más competitivos mercados de insumos pecuarios, y así cumplir con las regulaciones normativas en materia de inocuidad alimentaria, dictaminadas por una serie de organismos vinculantes y supletorios a nivel internacional, como la Organización Mundial del Comercio (OMC), la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), la Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). La importancia de mantener parámetros estrictos que garanticen la calidad de los sistemas productivos y los alimentos manufacturados se vislumbra cada vez más palpable, ya que se considera que las alteraciones en las condiciones de inocuidad de los alimentos es uno de los problemas de salud pública distribuidos a nivel mundial de forma muy amplia. Esto genera una reducción importante de la productividad económica. El crecimiento esperado de la población humana a un valor cercano a los nueve billones de personas para el 2050 permite predecir que la inocuidad alimentaria será un parámetro importante en las próximas décadas, que incidirá en el mejoramiento de los índices y de las políticas de salud; así mismo, influirá en el crecimiento económico de los países, principalmente en aquellos en vías de desarrollo (Colectivo de autores, 2012)

Durante la última década, el Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) ha surgido a nivel global como una herramienta preventiva y de control, que asegura a los consumidores y los países socios comerciales que los procesos de manufactura y transformación de alimentos se desarrollen con medidas estrictas de higiene. La versatilidad del HACCP es tal, que él mismo ha sido también incluido como parte integral en la legislación alimentaria de muchos países. La aplicación de la metodología HACCP es

obligatoria en distintos países como parte de los marcos regulatorios para asegurar la inocuidad alimentaria; y es al mismo tiempo promovido por diversas organizaciones normativas internacionales (FAO, OMS, CCA, etc.) como un mecanismo para ejercer un control eficiente de aquellas etapas de manufactura y transformación de alimentos, en los distintos eslabones clave que conforman e integran la cadena agroalimentaria (De Jesús, 2012a)

Los análisis de riesgo, por su parte, son modelos cualitativos o cuantitativos que permiten evaluar la probabilidad y la severidad de un peligro determinado presente en los alimentos, junto con sus efectos y consecuencias para la salud de los consumidores (Cartín, 2013).

Puede afirmarse que el desarrollo de la industria alimenticia cubana comienza con el triunfo de la Revolución. A partir del proceso de nacionalización de la industria por el gobierno revolucionario se crean las condiciones necesarias para comenzar el mismo, iniciándose la agrupación de fábricas en sectores especializados, la mejora de las instalaciones existentes y la ejecución de nuevas inversiones. Se introdujeron mejoras tecnológicas, se alcanzó una mayor centralización de la producción, se inició la elaboración e implantación de normas de materias primas, de proceso y de calidad de los productos terminados, igualmente un sistema de control de la calidad y medidas de carácter técnico y organizativo (De Jesús, 2012b; Trejo Téllez, 2011; Zafra, 2013; Zúñiga, 2010).

Disponer de un alimento inocuo y seguro, es una exigencia de los consumidores y una necesidad social. Los peligros que pueden afectar la inocuidad de los alimentos se deben prevenir por los responsables de la elaboración.

La producción de la Industria Alimenticia tiene como actividades fundamentales:

- La carne y sus derivados.
- La leche y sus derivados.
- La molinación de cereales.
- Las pastas alimenticias, confituras, pan, repostería y galletas.
- Las conservas de frutas y vegetales.
- El café.
- Las bebidas y refrescos.
- Las cervezas y maltas.
- La distribución de estas producciones a la red minorista.

Estas actividades se encuentran organizadas en empresas de subordinación nacional que pertenecen al Sistema del Ministerio de la Industria Alimenticia y en empresas subordinadas a los Órganos Locales del Poder Popular, éstas últimas desarrollan fundamentalmente las producciones de pan, repostería, galletas de sal, hielo y torrefacción de café; procesar además conservas de frutas, caramelos y pastas alimenticias, aunque en menor volumen que las empresas nacionales (FAO, 2012)

El Ministerio de la Industria Alimenticia (MINAL) Creado por la Ley No. 1185 de fecha 27 de octubre de 1965, es el Organismo de la Administración Central del Estado que tiene la responsabilidad de: Participar en la elaboración de los planes nacionales de desarrollo económico y social; asegurar que los planes de las entidades subordinadas, estén en concordancia con las políticas aprobadas por el gobierno. Promover el desarrollo de producciones que aumenten o creen fondos exportables o que sustituyan importaciones, exigir el control y uso eficiente de los recursos y evaluar los resultados económico-financiero en la administración y gestión de las entidades subordinadas, participar en el establecimiento y control de las normas y procedimientos que regulen la circulación mercantil y distribución de los productos alimenticios (FAO, 2013)

La cadena láctea de América Latina y el Caribe, entendida como la sucesión de segmentos que arrancan con la provisión de insumos, la producción primaria, la industrialización y distribución de productos, hasta llegar a millones de consumidores nacionales y extranjeros, es un sector de gran importancia económica, social y territorial en casi todos los países de la región.

La responsabilidad de asegurar unos alimentos inocuos y nutritivos a lo largo de la cadena alimentaria incumbe a todos los interesados. El desafío consiste en crear unos sistemas integrales y eficaces que garanticen la participación y el compromiso a largo plazo de todas las partes interesadas en cada una de las etapas (García, 2014)

A pesar de los enormes avances científicos y tecnológicos y de la mejora general en todo el mundo de los sistemas alimentarios, las enfermedades transmitidas por alimentos persisten y son motivo de grave preocupación para los organismos que se ocupan de la salud pública y para los consumidores. Los alimentos son el vector de múltiples peligros biológicos, químicos y físicos. La actitud de los consumidores está evolucionando, al menos en los países desarrollados, siendo cada vez mayor la inaceptabilidad social de los riesgos relacionados con los alimentos. Además, los consumidores exigen de modo creciente acceso a productos que contribuyan a una alimentación sana y nutritiva (García Ramírez, 2011)

Se han estudiado diversas opciones para garantizar a los consumidores unos alimentos inocuos y nutritivos. Una de ellas, preconizada por la FAO, consiste en la creación de un sistema alimentario integral y eficaz, basado en un enfoque que abarca toda la cadena alimentaria. El objetivo práctico es asegurar que los alimentos cumplan unos criterios de inocuidad basados en principios científicos, al tiempo que permitan alcanzar un equilibrio adecuado entre otros factores pertinentes, como por ejemplo la viabilidad técnica, el costo y las preocupaciones sociales, éticas y ambientales (Gil Barceló, 2010)

Se han propuesto y ejecutado un cierto número de estrategias de control de los alimentos a fin de asegurar su calidad e inocuidad, desde la producción hasta el consumo. La FAO, como agencia especializada del sistema de las Naciones Unidas, es responsable por múltiples aspectos de la calidad e inocuidad alimentarias y durante muchos años ha llevado a cabo actividades proporcionando asesoramiento sobre políticas, generando y diseminando información y ejecutando proyectos para la formación profesional y técnica, para ayudar a los países a asegurar un abastecimiento alimentario completo, satisfactorio e inocuo. Recientemente, la institución comenzó a desarrollar una "Estrategia para un Abastecimiento Alimentario Inocuo y Nutritivo" discutiendo elementos clave de asesoramiento de políticas, formación profesional, asistencia técnica y acciones requeridas para satisfacer ese objetivo. Esta estrategia está basada en el enfoque de la cadena alimentaria directamente ligado a la inocuidad y calidad de los alimentos, incluyendo los aspectos nutricionales (Cuevas, 2012). La mayoría de los daños producidos a la salud humana, causados por productos lácteos, se deben a la ingestión de alimentos con presencia de microorganismos patógenos y sus toxinas. Se pueden registrar enfermedades como la salmonelosis, intoxicación estafilocócica, yersiniosis, listeriosis, enteritis por E. coli Clostridium perfringens o Bacillus cereus, fiebre Q, hepatitis A, brucelosis, botulismo, shigellosis e infección por Pseudomonas aeruginosa (IPS, 2014; Paredes G, 2010; Ritchie et al., 2013; Tejera Díaz, 2012)

En el proceso de obtención de la leche pasteurizada, producto objeto de estudio de esta investigación, están claramente presentes un conjunto de riesgos que son inherentes a este, teniendo en cuenta que es un producto de la canasta básica orientado principalmente a niños pequeños, embarazadas, adultos mayores y a personas que por su estado de salud requieren de una dieta especial, por lo que es necesario un control estricto de este proceso a través de pruebas microbiológicas, químicas y físicas, en toda su extensión. La condición de producto perecedero y las características originarias del producto lo identifican

como un producto que requiere de una cadena de frío desde que se obtiene del proveedor hasta que llega al consumidor (López Soriano, 2009)

Es indispensable retirar los productos alterados, pero a la vez es necesario prevenir la alteración y aumentar el nivel de calidad. La alteración se debe esencialmente a un desarrollo microbiano, por lo cual el preservar la calidad de la leche es una cuestión que está íntimamente relacionada con la higiene. Para limitar la plaga microbiana a lo largo de la cadena es necesario proteger el producto contra las fuentes de alteración y la creación de las condiciones tales que la multiplicación de bacterias sea frenada (en particular, bajando la temperatura del producto) (Molina, 2010)

Por todos estos elementos es necesario lograr que se trabaje de forma preventiva a través de la gestión de los riesgos de este tipo de procesos, la identificación de forma anticipada de cómo puede suceder un fallo, las causas que lo provocan y el efecto que traen consigo para poder disminuir su probabilidad de ocurrencia.

1.5. Conclusiones parciales

1. La mejora del control de los procesos industriales constituye un desafío en las industrias de proceso, que requieren iniciativas tecnológicas, sociales y de gestión para dirigirlos; con herramientas que permitan detectar de forma oportuna las causas que provocan variabilidad en los procesos o la forma de atenuar su efecto, en correspondencia con la Metodología Diseño Robusto, para garantizar que las variaciones en procesos, no afecten la calidad del producto, y sí faciliten la proyección de prácticas de calidad encaminadas a robustecer los procesos.
2. Reducir los costos, con la reducción de la variabilidad y de esa forma mejorar la calidad en los procesos, es el fundamento de la Filosofía de Taguchi, y constituye el planteamiento base para el empleo del AMFE y el VMEA, que fortalecen la insensibilidad de los procesos, al investigar cómo las fuentes de variación hacen impacto en la robustez de productos y procesos; análisis que resulta consistente con las necesidades de mejorar la productividad y eficacia en las industrias de proceso, particularmente en Cuba que generalmente operan con la presencia de una alta variabilidad en los procesos, sin embargo los análisis en pocas ocasiones los orienta en este sentido.

3. La industria alimenticia cubana de forma general, basa el control de los alimentos que procesa en la inspección lo cual no agrega valor en el proceso y expresa poca atención a la variabilidad, donde se requiere uniformidad, pues alejarse del valor objetivo, implica pérdidas, y no es suficiente que los valores de un determinado requisito del producto, estén dentro de los límites de especificación. Estas prácticas provocan desechos y reprocesos, que resulta insatisfacción del cliente y un bajo valor de los productos, situación que es imprescindible mejorar, en cualquier economía y especial en la cubana.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL ANÁLISIS DE VARIABILIDAD EN EL PROCESO DE LECHE PASTEURIZADA

2.1. Introducción

Este capítulo tiene como objetivo la fundamentación teórica del análisis de variabilidad en el proceso de leche pasteurizada, a través del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) y el Análisis Modal de Variaciones y Efectos (VMEA, siglas en inglés), por el valor que aportan en procesos industriales, respecto al estudio de identificación de causas, y reducción de pérdidas, a partir de otorgar prioridad a los fallos y variaciones que se presentan en los procesos, como garantía para la robustez. La investigación se desarrolla en la obtención de leche pasteurizada, en la Empresa de Productos Lácteos “Río Zaza”, establecimiento “Pasteurizadora”, donde se orienta como contribución a la reducción de variabilidad de los requisitos de calidad de la leche pasteurizada, y la eficiencia del proceso, por la posibilidad de simular el comportamiento del proceso, además de documentarlo.

2.2 Métodos para el análisis de variabilidad de procesos

El AMFE resulta una herramienta efectiva en las industrias, para la identificación y estimación de las causas de fallo y modos de fallo potenciales, a través de la valoración de la gravedad, ocurrencia y posibilidad de detección de los fallos, por lo que constituye método que simula y que documenta los procesos o productos.

Respecto al VMEA es un método de deducción, consiste en la identificación sistemática y la gestión de las fuentes de variación. Las variaciones son también llamados factores de ruido (NF_S). Las características de los productos claves (KPC_S) están influenciados por factores de ruidos en todo el proceso de desarrollo de productos.

Ambos métodos de análisis, son efectivos, y se potencian cuando se utilizan de conjunto. El desarrollo de los mismos de forma simultánea ofrece mejores resultados (Min, et al., 2014).

Para la investigación se contextualizan las premisas que definió (Castellano Gómez, 2012), para la utilización de VMEA en una industria de proceso.

- robustecer los procesos de producción industrial en la Empresa de Productos Lácteos “Río Zaza”, establecimiento “Pasteurizadora”, a través de herramientas de ingeniería de calidad.
- promover la utilidad de la concepción cliente-proveedor, a través de la evaluación de la Función de Pérdida como indicador de la eficiencia que se logra en el proceso de

producción industrial, con la reducción de variabilidad en los requisitos de calidad de los productos, en el proceso clave.

Datos de entrada

1. Datos de producciones realizadas, desempeño del proceso de obtención de leche pasteurizada y evaluaciones de los requisitos de la calidad del producto terminado.
2. Información detallada del proceso de obtención de leche pasteurizada que permita su caracterización y descripción.
3. Datos del comportamiento de las variables tecnológicas por etapas del proceso de obtención de leche pasteurizada.
4. Fuentes de variación que hacen impacto en la robustez de la leche pasteurizada y su proceso.

Información de salida

1. Evaluación del estado de control de proceso y su capacidad.
2. Evaluación de la sensibilidad que se logra en el proceso de producción industrial, a través de indicadores de estabilidad de las características de calidad de los productos terminados.

2.2.1. El Análisis Modal de Fallos y sus Efectos.

Como herramienta de análisis, permite simular el comportamiento del proceso, y documentarlo. Se identifican, evalúan y prevén los posibles fallos y efectos que pueden aparecer en un proceso (Besterfield, 2009). Para la ejecución de esta investigación se propone el procedimiento de Fernández Hatre, 2005 (figura 2.1); a continuación se describen los pasos que lo conforman.

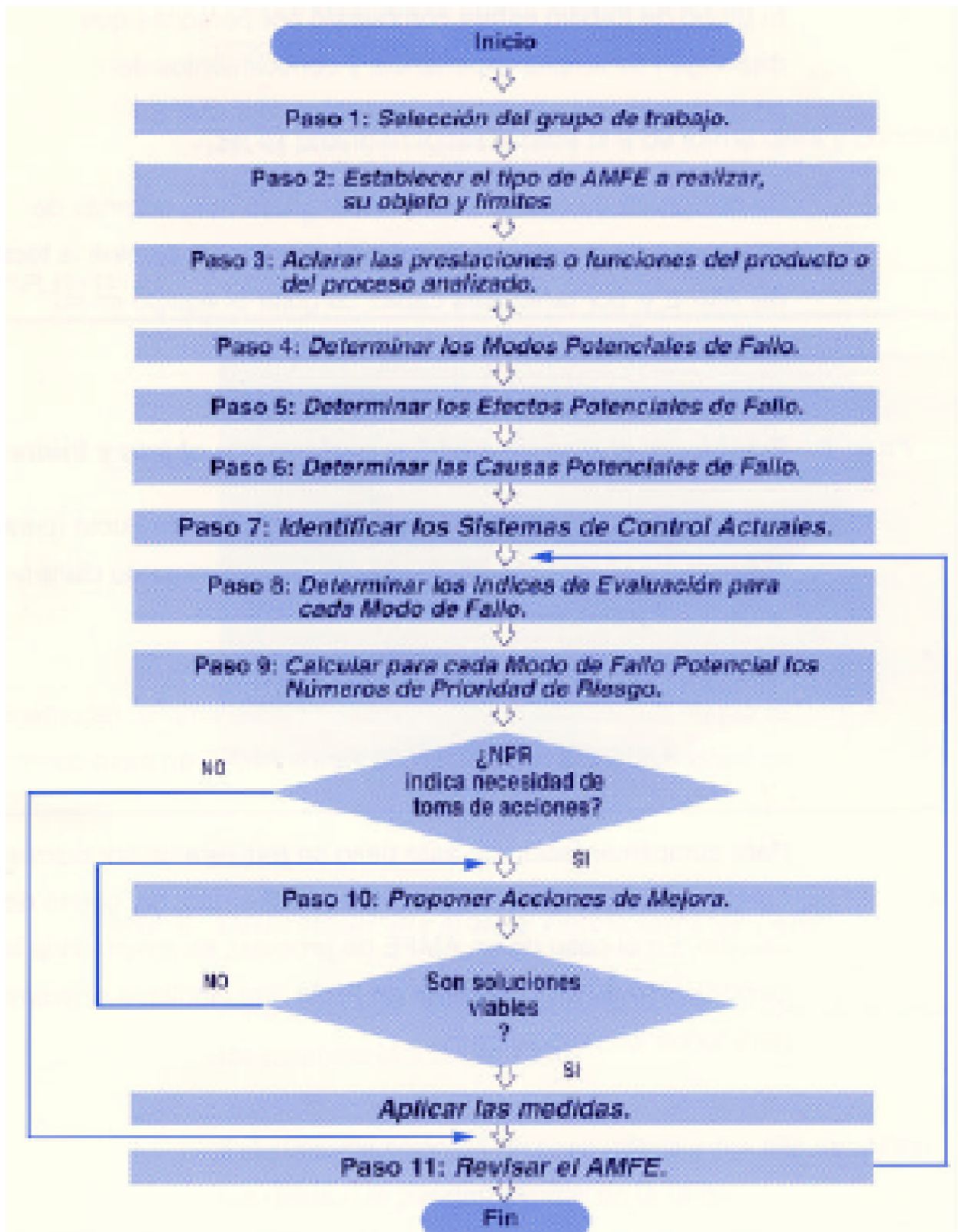


Figura 2.1 Procedimiento para el AMFE. Fuente: Fernández Hatre, 2005

Paso 1. Selección del grupo de trabajo

El grupo de trabajo está compuesto por personas que dispongan amplia experiencia y conocimientos del proceso. Se designa un coordinador para el grupo. Se utiliza el método de expertos que se muestra en el Anexo 6 perteneciente al capítulo 3.

Paso2. Establecer el tipo de AMFE a realizar, su objeto y límite

Se define de forma precisa el proceso objeto de estudio y se delimita el campo de aplicación del AMFE. Se elabora el diagrama de flujo del proceso. Se puede utilizar el esquema que se muestran en el Anexo 1.

En el diagrama de flujo para el análisis del proceso. Se identifican etapas, detallan operaciones, condiciones tecnológicas, equipos empleados y esquemas de control; todo ello con el reconocimiento de las características del diseño original del proceso. En el proceso de análisis se responden las preguntas siguientes:

¿Cómo trabaja el proceso?

¿Qué se supone que debe lograr?

¿Cuál es la forma de llevar a cabo el proceso?

Paso 3. Establecer las prestaciones o funciones del proceso

Es necesario conocer las funciones del proceso seleccionado para identificar sin dificultad los modos de fallos potenciales.

Paso 4. Determinar los modos potenciales de fallo

Para cada función definida en el paso anterior se debe identificar todos los posibles modos de fallo, a partir de:

- AMFE anteriores
- Estudios de fiabilidad
- Reclamaciones de los clientes
- Criterios de los expertos

Paso 5. Determinar los efectos potenciales de fallo

Para cada modo potencial de fallo se identificarán todas las posibles consecuencias que éstos pueden implicar para el producto final.

Paso 6. Determinar las causas potenciales de fallo

Para cada modo de fallo se identifican todas las posibles causas directas o indirectas. Se pueden utilizar diagramas Causa-Efecto y de Relaciones.

Paso 7. Identificar sistemas de control actuales

En este paso se identifican los controles diseñados para prevenir las posibles causas del fallo, o para detectar el modo de fallo resultante.

Paso 8. Determinar los índices de evaluación para cada modo de fallo

Se proponen tres índices de evaluación:

ÍNDICE DE GRAVEDAD (G). Evalúa la gravedad del efecto o consecuencia de que se produzca un determinado fallo para el proceso de leche pasteurizada. La evaluación se realiza en una escala del 1 al 10. Cada una de las causas potenciales correspondientes a un mismo efecto se evalúa con el mismo índice de gravedad. En caso que una misma causa pueda contribuir a varios efectos del mismo modo de fallo se le asignará el índice de gravedad mayor.

ÍNDICE DE OCURRENCIA (O). Evalúa la probabilidad de que se produzca el modo de fallo por cada una de las causas potenciales en una escala del 1 al 10.

ÍNDICE DE DETECCIÓN (D). Evalúa para cada causa la probabilidad de detectar dicha causa y el modo de fallo resultante antes de llegar al cliente, se evalúa en una escala del 1 al 10.

Las escalas y su evaluación para cada uno de los índices se muestran en los Anexos 2,3 y 4 respectivamente.

Paso 9. Calcular para cada modo de fallo potencial los números de prioridad de riesgo (NPR)

Para causa potencial de cada uno de los modos de fallo potenciales se calculará el número de prioridad de riesgo multiplicando los índices de Gravedad (G), de Ocurrencia (O) y de Detección (D) correspondientes según la ecuación 2.1.

$$NPR = G * O * D \quad (2.1)$$

El valor resultante podrá oscilar entre 1 y 1000, donde 1000 es el mayor potencial de riesgo.

Paso 10. Proponer acciones de mejora

Se consideran modo de fallo crítico los NPR > 100, a estos corresponden acciones de mejora para su reducción. Se definen los responsables y las fechas límites. A partir de la ejecución de las acciones se establece la forma de operar del proceso para los nuevos NPR que se calculan.

Paso 11. Revisar el AMFE

El AMFE se revisa de forma periódica en la fecha que se haya establecido previamente, y se evalúa la eficacia de las acciones de mejora. En esta investigación los procesos con NPR > 100, constituyen los procesos claves que, requieren ser valorados en términos de reducción de pérdidas, a través del análisis de variabilidad.

2.2.2. Revisión y análisis estadísticos de las variables

En el proceso clave (que se obtiene por AMFE), se determinan y evalúan las variables resultado de proceso, se evalúan respecto a los valores nominales, definidos en la norma de empresa, y se analiza la variabilidad de los procesos, según las tareas que se relacionan:

1. Revisión de los registros de control de proceso por etapas de los operadores de equipos.
2. Revisión de los registros de control del proceso del personal de calidad.
3. Estudio de las cartas gráficas existentes en equipos de proceso.

Se procesa la información según el tipo de dato disponible, a través de herramientas básicas de calidad, como el Diagrama de Pareto.

Para el análisis del el estado de control estadístico del proceso, se utilizan los Gráficos de Control (GC) de X (valores individuales), y de Recorridos Móviles (X- R_m). Los cálculos se realizan en una hoja de Excel. Los GC X (valores individuales), se utilizan para mostrar los cambios que pueden ocurrir en el proceso, y compararlos con los límites de especificación. Juran & Gryna, 2001, refieren la utilidad de estos gráficos, cuando no es posible formar subgrupos racionales, por la naturaleza del proceso relativamente uniforme (efecto de las mezclas). El comportamiento se evalúa según los criterios referenciados en Pons Murguía, 2002)

Las expresiones cálculo de los Límites de Control Superior (LCS) e Inferior (LCI), se presentan en la expresión 2.2 y la Línea Central en la expresión 2.3, para el GC X.

$$\text{LCS y LCI: } \bar{X} \pm E_2 \overline{R_m} \quad (2.2)$$

Donde

LCS y LCI: Límites de Control Superior e Inferior; k: cantidad de muestras de tamaño n; n: tamaño de muestra, la define el investigador; E_2 constante que dependen de n. $E_2 = 2,66$; para n=2 (Juan & Gryna, 2001)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^k X}{k} \quad (2.3)$$

Donde

X: observaciones tomadas de la variable

k: cantidad de muestras j de tamaño n.

Para el análisis de la variabilidad del proceso se utiliza el GC de R_m , en las expresiones de la 2.4 a 2.6, se presentan las fórmulas de cálculo, que realizan en una hoja de Excel.

$$LCS = \bar{Rm}D_4; LCI = \bar{Rm}D_3 \quad (2.4)$$

Donde

D_4 ; D_3 : constantes que dependen de n. $D_4 = 3,268$; $D_3 = 0$; para n=2.

$$\bar{Rm} = \frac{\sum_{j=1}^k R_{mj}}{k} \quad (2.5)$$

Donde

$$R_{mj} = X_{máx} - X_{mín} \quad (2.6)$$

Donde

R_{mj} : Recorrido móvil de cada conjunto.

$X_{máx}$ y $X_{mín}$: valores máximos y mínimos de cada muestra.

Evaluación de la capacidad del proceso

Al lograr la estabilidad del proceso, se realiza el cálculo del índice de capacidad (C_p , proceso centrado; C_{pk} , no centrado), según tabla 2.1 (se incluyen límites de evaluación). En la tabla 2.2, se presentan los valores mínimos para procesos con parámetros de seguridad (Paladini et al. (2015)).

Tabla 2.1. Expresiones de cálculo para indicadores de capacidad de proceso

Proceso centrado en su valor nominal	Proceso no centrado en su valor nominal	Límites mínimo de evaluación
$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (1)$	$C_{pk} = \min (S_1/ 3 \sigma, S_2/3 \sigma)$	1) Proceso incapaz: $C_p < 1$; (2) Proceso aceptable: $1 \leq C_p \leq 1,33$ y (3) Proceso capaz: $C_p \geq 1,33$.
$C_p = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}; C_p = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (2)$	$S_1 = LSE - \bar{X}; S_2 = \bar{X} - LIE$	(1) Proceso incapaz: $C_{pk} < 1$; (2) Proceso aceptable: $1 \leq C_{pk} \leq 1,33$ (3) Proceso capaz: $C_{pk} \geq 1,33$.

Fuente: Paladini et al. (2015).

Donde:

LSE y LIE: límites de especificación de diseño, σ : patrón de variabilidad estimada para ambos métodos = \bar{R}_m/d_2 ; R_m : Recorrido Móvil medio y d_2 : constante que depende de n: tamaño de muestra que se define para el cálculo de R_m .

Tabla 2.2. Valores recomendados para evaluación de los índices de capacidad de proceso

Proceso	Especificaciones bilaterales	Especificaciones unilaterales
Existente	1,33	1,25
Nuevo	1,50	1,45
Existente con parámetros de seguridad	1,50	1,45
Nuevo con parámetros de seguridad	1,67	1,60

Fuente: Montgomery, 1991

El análisis de la capacidad para especificaciones bilaterales (expresión 1, tabla. 2.1). La obtención de valores de $C_p \geq 1,50$ para procesos existente con parámetros de seguridad, posibilita definir cambios en la «Norma de Especificación del Producto» de la empresa, concluido el análisis de las causas de variabilidad del proceso.

A través de la Función de Pérdida (Lochaer & Mator, 1990) expresión 2.7, se obtiene un indicador de eficiencia, para valorar las pérdidas en el proceso con la reducción de la variabilidad.

$$L(y) = K(y - m)^2 \quad (2.7)$$

Donde

L (y): pérdida en términos monetarios; y: valor de la característica de calidad; m: valor meta de la característica; K: coeficiente de costo, (expresión 2.8).

$$K = A/\Delta^2 \quad (2.8)$$

Donde:

A: pérdida asociada con una unidad en el límite de especificación, que considera el precio de venta, se supone que la pérdida para una unidad en el valor meta y es cero;

Δ : Tolerancia de la característica.

2.2.3 Análisis modal de variaciones y efectos (VMEA)

Identificación de las causas de inestabilidad del proceso clave

Se involucra y obtiene el compromiso de la dirección. Sin un liderazgo por parte de los directivos cualquier propuesta de cambio no procede. Para detectar las posibles causas de variabilidad del proceso se emplea trabajo de equipo con los expertos. Algunas técnicas recomendadas son: tormentas de ideas, impactos cruzados y otros.

A partir de las Características de Producto (PCs) de mayor interés desde el punto de vista de la variación del proceso, que se analizaron en el paso anterior, se definen las Características Clave de Producto (KPCs), por el impacto en la seguridad alimentaria, costo final, conformidad con los requisitos funcionales; lo cual constituye la información de entrada para realizar Análisis Modal de Variaciones y Efectos (VMEA), y detectar las áreas críticas en términos de los efectos de una variación no deseada.

El VMEA, se realiza por un procedimiento que cuenta con cuatro pasos, según (Ramiro & González ,2005).

1. Desglose detallado y causal de las KPCs.
2. Valoración de la sensibilidad.
3. Valoración del tamaño de la variación.
4. Valoración del riesgo de la variación y priorización.

Paso 1 del VMEA. El desglose detallado y causal de las KPs se realiza una vez que se ha seleccionado una KPC, normalmente se puede descomponer en un número de sub-elementos llamados Sub-KPCs. Las Sub-KPCs son características de cada producto o componentes del producto o del proceso de fabricación cuyos valores afectan a la KPC. Por lo general son conocidas y controlables. Además, cada Sub-KPC puede estar afectada a su vez por un número de Factores de Ruido (NFs). Una clasificación muy común distingue los

NFs que se manifiestan y actúan durante la producción de aquellas que actúan durante el uso del producto. El primer tipo determina las diferencias entre productos fabricados para cumplir con las mismas especificaciones (variación uno-a-uno). El segundo tipo resulta de los diferentes comportamientos de una misma muestra de un producto cuando se usa repetidamente (variación en-uso). Los NFs que se presentan durante el uso pueden a su vez dividirse en: causados por fuentes internas o externas. Las *fuentes externas* pueden ser condiciones del entorno/ de operación que cambian con el tiempo y con el lugar cuando se usa el producto. Las *fuentes internas* pueden ser las condiciones del producto en si mismas, que cambian con el tiempo cuando es usado, debido a la acción de procesos físicos que causan desgaste o degradación. Otra clasificación de los NFs también es posible, basada en el grado de conocimiento sobre ellos y su manejabilidad. En la figura 2.2 se muestra un plan resumido de las dos clasificaciones de NFs.

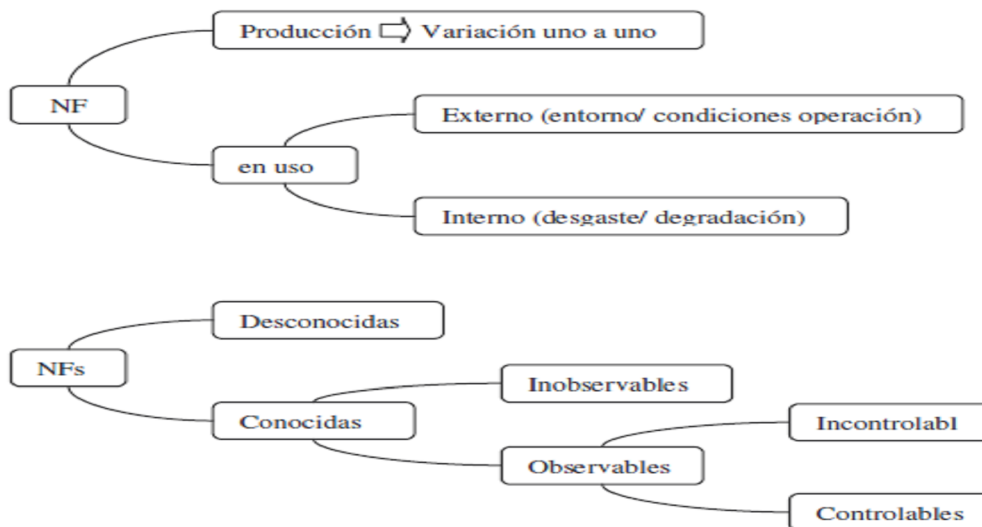


Figura 2.2 Dos posibles clasificaciones de los Factores de ruido. Fuente (Ramiro & González ,2005).

El desglose causal de la KPC es el primer paso en facilitar un entendimiento de la variación. Se representa gráficamente en la figura 2.3 en un diagrama causa-efecto.

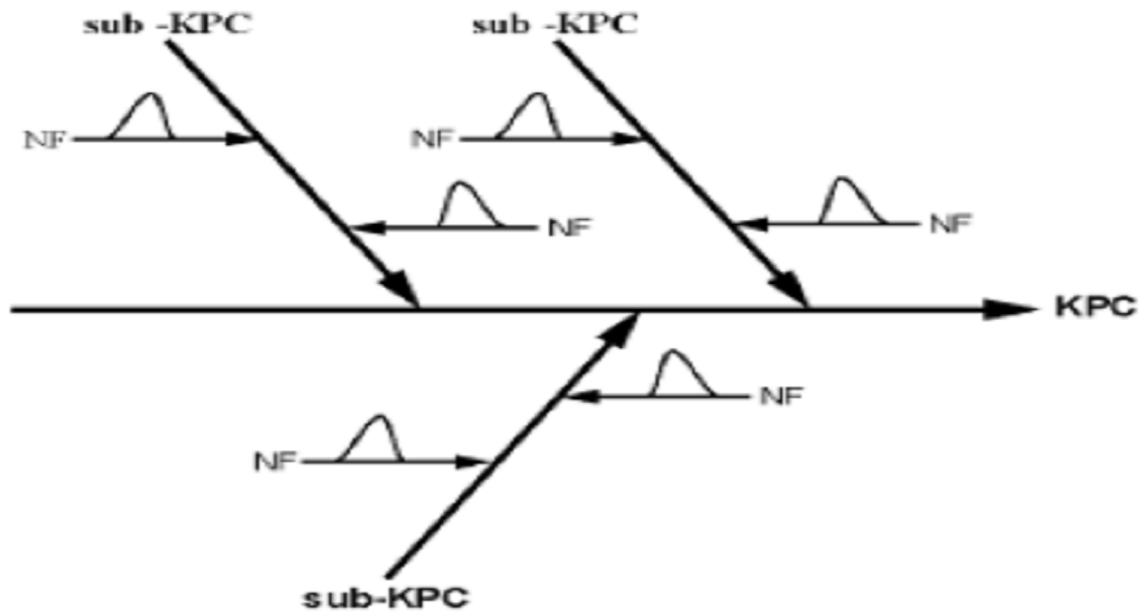


Figura 2.3 Desglose de la KPC en Sub-KPCs y Factores de ruido. Fuente (Ramiro & González, 2005)

Paso 2 del VMEA. En el segundo paso del procedimiento, los expertos valoran la sensibilidad de la KPC a la acción de cada Sub-KPC y la sensibilidad de cada Sub-KPC a la acción de los NFs, utilizando criterios de valoración subjetivos, se tiene en cuenta el conocimiento de los expertos sobre las sensibilidades. La valoración está en una escala de 1 a 10, donde el 1 corresponde con una sensibilidad muy baja y 10 se corresponde con una sensibilidad muy alta. El criterio se explica en la tabla 2.3.

Paso 3 del VMEA. En el tercer paso, los expertos examinan los NFs y estiman la magnitud de su variación en las condiciones de operación. En la tabla 2.4 se explica el criterio de valoración subjetivo para medir el conocimiento de los ingenieros sobre la magnitud de una variación del factor de ruido. La valoración está basada en una escala del 1 al 10, donde el 1 corresponde a una variación muy baja y el 10 corresponde a una variación muy alta.

Tabla 2.3 Criterio de evaluación de la sensibilidad

Criterio 1: Criterio de evaluación de la sensibilidad	Puntuación
Muy baja sensibilidad. Un cambio en un parámetro es muy poco probable que cause cambios sustanciales en el otro.	1-2
Baja sensibilidad. Un cambio en un parámetro es poco probable que cause cambios sustanciales en el otro.	3-4
Sensibilidad moderada. Un cambio en un parámetro es probable que cause cambios sustanciales en el otro.	5-6
Sensibilidad alta. Un cambio en un parámetro es bastante probable que cause cambios sustanciales en el otro.	7-8
Sensibilidad muy alta. Un cambio en un parámetro es muy probable que cause cambios sustanciales en el otro.	9-10

Fuente (Ramiro & González ,2005).

Tabla 2.4 Criterio de evaluación de la variación del factor de ruido. Fuente (Ramiro & González ,2005)

Criterio 2: Criterio del evaluación de la variación del factor de ruido	Puntuación
Muy poca variabilidad del factor de ruido en condiciones de operación, es decir , a pesar de las condiciones de operación la dispersión del factor de ruido continua siendo muy pequeña.	1-2
Poca variabilidad del factor de ruido en condiciones de operación, es decir, a pesar de las condiciones de operación la dispersión del factor de ruido continua siendo bastante pequeña.	3-4
Moderada variabilidad del factor de ruido en condiciones de operación, es decir, a pesar de las condiciones de operación, la dispersión del factor de ruido continua siendo pequeña.	5-6
Alta variabilidad del factor de ruido en condiciones de operación, es decir, la dispersión del factor de ruido es grande.	7-8
Gran variabilidad del factor de ruido en las condiciones de operación, es decir, la dispersión del factor de ruido es muy grande.	9-10

Paso 4 del VMEA. En correspondencia con la valoración hecha en los tres pasos previos, se calcula el Número de Prioridad del Riesgo de Variación (VRPN) (expresión (2.9), para los factores de ruido y se tiene en cuenta cada Sub-KPC.

$$VRPN_{NF / Sub - KPC} = S_1^2 S_2^2 V^2 \quad (2.9)$$

Donde:

S₁, es la sensibilidad de la KPC a la acción de la Sub-KPC que está influenciada a su vez por el NF (valorado en el paso 2);

S₂, es la sensibilidad de la Sub-KPC a la acción del NF (valorado en el paso 2);

V, es el tamaño de la variación del NF (valorado en el paso 3).

Si uno y el mismo Sub-KPC está influenciado por varios NFs, es posible calcular el Número de Prioridad del Riesgo de la Variación (VRPN) para Sub-KPC sumando los VRPN_{NF/Sub-KPC} calculados respecto a esa Sub-KPC (expresión 2.10).

$$VRPN_{Sub-KPC} = \sum VRPN_{NF / Sub-KPC} \quad (2.10)$$

Para evaluar la contribución de las sub-KPC y los NF sobre las KPC se realizan diagramas de Pareto.

Se establecen los planes de acciones correctivas y preventivas correspondientes para la erradicación de las deficiencias detectadas en el proceso. Los planes deben incluir las fechas de cumplimiento, los participantes y responsables.

2.3. Análisis de la contribución a la reducción de pérdidas en la producción

El objetivo de este análisis es objetivo verificar los resultados de las acciones desarrolladas para la reducción de la variabilidad del proceso.

- Comparación de variables de calidad a través de los gráficos de control (X- R_m).
- Evaluación a través de la función de pérdida (expresiones 2.7 y 2.8).

Calcular los ahorros (expresión 2.11) y razón de la mejora (expresión 2.12)

$$\text{Ahorro} = L_1(y) - L_2(y) \quad (2.11)$$

$$\text{Razón} = L_1(y) / L_2(y) \quad (2.12)$$

Donde: L_{1,2}(y): Función de pérdida, ₍₁₎ antes de las acciones; ₍₂₎ después de las acciones.

- Evaluación de los resultados a través del recalcu del NPR (expresión 2.1).
- Documentar el AMFE.

Se valora como se garantiza que no se repita el efecto de variabilidad que provocan las causas identificadas, con el mantenimiento de la estabilidad del proceso. Se documentan los procesos de mejora a través de:

- Manual de procedimientos estandarizados.
- Manual de instrucciones.
- Capacitación del personal en el nuevo proceso.
- Verificación del entrenamiento.

2.4 Conclusiones parciales

1. Se establecen las bases teóricas para el uso combinado de herramientas de análisis de variabilidad en procesos industriales, particularmente en el proceso de obtención de leche pasteurizada.
2. Se propone la utilización de los métodos de análisis de variabilidad AMFE y VMEA que se complementan para la mejora en el control del proceso de la Empresa de Productos Lácteos “Río Zaza”, se fundamenta en el soporte teórico- metodológico de la ingeniería de calidad y el enfoque de proceso.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE VARIABILIDAD EN EL PROCESO DE LECHE PASTEURIZADA

3.1. Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo el análisis de variabilidad en el proceso de leche pasteurizada, a través de los métodos AMFE y VMEA. Se desarrolla primeramente el análisis del proceso a través del AMFE y posteriormente se analizan las características de calidad de la leche pasteurizada en el proceso a través del VMEA en las etapas del proceso de mayor relevancia para la conformidad del producto terminado.

3.2. El Análisis Modal de Fallos y sus Efectos

El universo es de 9 expertos. El listado se muestra en el Anexo 5 y el desarrollo del método se muestra en el Anexo 6.

Se necesitan 8 expertos. Lo ideal es que todos tengan calificación de competencia alta, pero solo 6 de los 9 posibles expertos ostentan esa calificación según resultados del método. De los tres que tiene calificación media, se toman los de mayor puntuación, queda fuera el experto número 3.

La Empresa de Productos Lácteos “Río Zaza” cuenta con los procesos:

- Leche pasteurizada
- Yogurt
- Mantequilla
- Helados
- Quesos
- Mezclas físicas

Los expertos analizan los procesos a partir del criterio de pérdidas por no calidad. El resultado se muestra en la figura 3.1. Como se aprecia, el proceso con mayores pérdidas es el proceso de leche pasteurizada, por tanto se selecciona como el proceso objeto de estudio. El diagrama de proceso se muestra en la figura 3.2.

En la tabla 3.1, se muestran los resultados del AMFE, la pasteurización es la operación con valor NPR= 1000.

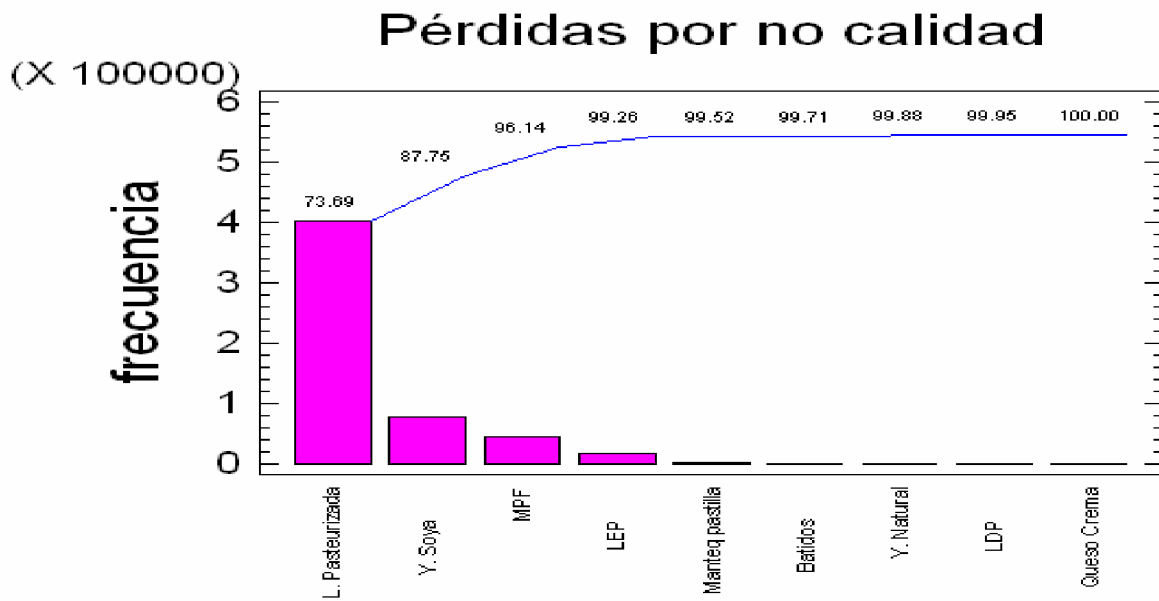


Figura 3.1. Pérdidas en miles de pesos en los procesos de la Empresa

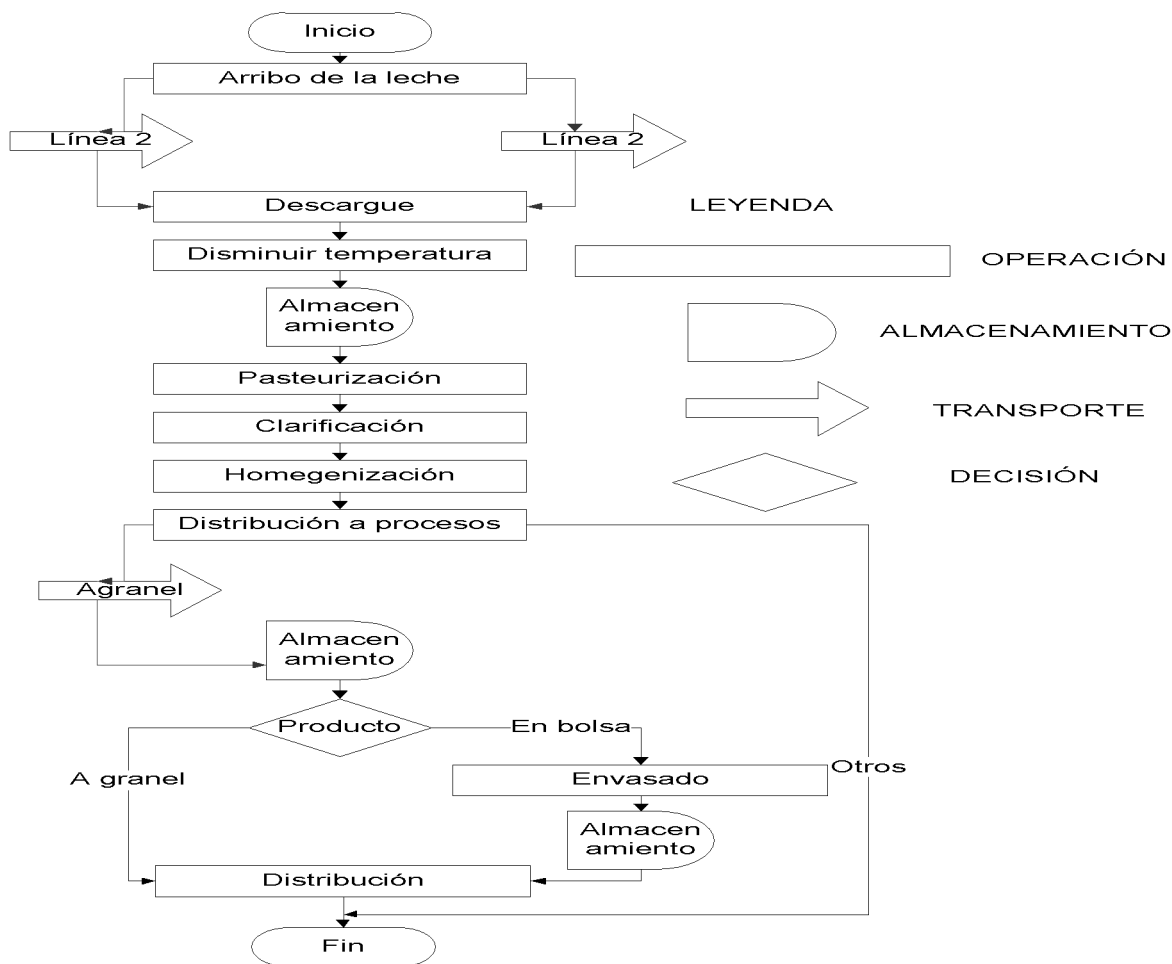


Figura 3.2 Diagrama de proceso de la leche pasteurizada. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.1. Resultados del AMFE inicial

ANALISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS

DE PROCESO _X_ DE DISEÑO ____

Empresa: Productos Lácteos “Río Zaza”

Proceso: Leche Pasteurizada

Actuar sobre NPR \geq 100

Pasos del proceso	Modo de fallo	Efectos del fallo	S	Causas del fallo	O	Controles actuales	D	NPR	Acción Correctora	Responsable	Acciones implantadas	GO D	NPR
Limpieza química	Accidentes laborales	Quemaduras en los trabajadores	9	Incorrecta manipulación de la sosa cáustica	4	No se controla	10	360	Capacitación	Técnico RH			
		Fallecimiento de los trabajadores	10	Elevada presión de vapor	4	Control del nivel de vapor	2	80					
	Unión de los componentes de la limpieza con la leche	Pérdida del producto final	Negligencia del operario	3	No se controla	10	90						
			Incumplimiento de la norma de limpieza	7	Control de las áreas, equipos, tanques y carros transportadores	2	98						
	Los productos de la limpieza no alcanzan la temperatura adecuada	Incorrecta limpieza química	7	Presión de vapor descendente	10	Control del nivel de vapor	1	70					
	Recepción de la leche	Entrada tardía de la leche	Posible acidificación de la leche	8	Llegada tarde de los carros cisternas por roturas	3	Control del estado técnico de los carros transportadores	2	24				
Llegada tarde de los carros cisternas por no cumplir con las rutas					4	Control de las rutas por el departamento de acopio	1	16					
Equipos y área de recibo en mal estado higiénico o sucios		Contaminación de la leche con microorganismos y suciedades	Pérdida del producto por salideros en tuberías	8	No revisión de los equipos y el área de recibo por el responsable del control de calidad y el jefe de turno de producción	5	Control del estado higiénico de los equipos y áreas de trabajo por el jefe de turno de producción	2	80				
		Demoras en el proceso	6										

Recepción de la leche	Recibo de leche de mala calidad por encontrarse fuera de especificaciones	Producto final fuera de especificaciones de calidad (NRIAL 021:02)	4	Falta de experiencia del personal del laboratorio	2	No se controla	10	80							
		Pérdida del producto final por estar la materia prima fuera de especificaciones	Equipos técnicos no inspeccionados	5	Inspección de equipos técnicos	4	80								
			No se mide la densidad en los carros cisternas por no tener lactodensímetro	7	Control de densidad al llegar a la empresa	2	98								
	Cuellos de botella en el patio del recibo	Demoras en el proceso	3	Mal funcionamiento de las bombas por falta de mantenimiento	4	Control del estado de las bombas	3	84							
		Acidificación de la leche	7												
		Pérdida del producto final por contaminación	7												
	Incorrecto filtrado de la leche	Producto final de mala calidad por presencia de impurezas	5	Mal estado técnico de la malla del filtro	7	No se controla	10	350	Cambiar la malla	Inversiones					
	Proliferación microbiana excesiva	Intoxicación del cliente	8	Elevadas temperaturas de transportación de la leche en los carros cisternas	5	Control de temperatura en las vaquerías	2	80							
	Acidificación de la leche	Pérdida del producto final	8	Elevadas temperaturas de transportación de la leche	5	Control de temperatura en las vaquerías	5	200	Enfriamiento de la leche en vaquerías	MINA GRI					
	Accidentes laborales en el laboratorio	Quemaduras en trabajadores	7	Incorrecta manipulación de los medios de trabajo	2	Inspección de instalaciones y chequeo de medios de trabajo	5	70							
Inhalación de productos		7													

		tóxicos											
Disminución de temperatura en el intercambiador de calor	Contaminación de la leche con microorganismos	Pérdida del producto final por contaminación	5	Falta de higiene por deficiente limpieza del intercambiador de calor	8	Control de la limpieza del intercambiador de calor	4	160	Limpieza efectiva	Panelista			
		Intoxicación del cliente	6	Mal funcionamiento de las válvulas neumáticas por falta de mantenimiento	5	Control del estado de las válvulas por el instrumentista	3	90					
	Acidificación de la leche	Pérdidas del producto final	7	No se mantiene la temperatura adecuada por deficiente homogenización por parte de los reductores en el banco de hielo	5	Control de la temperatura de los bancos de hielo	2	70					
			7	No se alcanza la temperatura adecuada por falta de amoníaco en los bancos de hielo	5	Control de la temperatura en los bancos de hielo	2	70					
	Derrame de leche	Pérdida del producto final	5	Mal funcionamiento de las válvulas neumáticas por falta de mantenimiento	7	Control del estado de las válvulas por el instrumentista	2	70					
	Almacenamiento en silos	Contaminación de la leche con microorganismos	Pérdida del producto final	7	Falta de higiene por deficiente limpieza química	5	Control de la limpieza de los silos	2	70				
Acidificación del producto		Pérdida del producto final	9	Aumento de temperatura por demoras en la utilización de la leche	7	Control de temperatura	5	315					
Reconstitución	No se realiza una adecuada reconstitución de la	Mala calidad del producto porque no se logra una disolución idónea	5	No trabajan con la mesa de reconstitución por no tener bombas	5	Control del estado de las bombas	3	75					

	leche																			
		Mala calidad del producto final (fuera de especificaciones)	5	Incorrecto cálculo del nivel de densidad	4	Revisión por el tecnólogo y el jefe de turno de producción	4	80												
				Negligencia del trabajador	4	Revisión por el tecnólogo y el jefe de turno de producción	4	80												
Clarificación	Incorrecta limpieza de la leche	Acidificación	8	Baja presión de agua suave	6	Control del estado del motor eléctrico	6	288												
Homogeneización	Incorrecta homogenización del producto	Producto final fuera de especificaciones	5	Insuficiente presión del homogeneizador por falta de aceite	6	Control de presión del homogeneizador	3	90												
				Insuficiente presión del homogeneizador por salidas en los sellos	6	Control de presión del homogeneizador	3	90												
Pausterización	Insuficiente inhibición de carga microbiana por incorrecto tratamiento térmico	Acidificación de la leche	10	Baja presión de vapor	9	No se controla	10	1000												
				Inestabilidad en la temperatura del agua helada	9	No se controla	10													
				Guarda de temperatura a roto	10	No se controla	10													
				Placas y juntas en mal estado	9	No se controla	10													
Almacenamiento en tanques	Proliferación microbiana	Enfermedades gastrointestinales de los clientes	8	Demoras en la utilización de la leche	5	Conteo de microorganismos y coliformes	2	80												
	Acidificación del producto	Pérdida del producto final	7	Demoras en la utilización de la leche	4	Conteo de microorganismos y coliformes	3	84												
Envasado	Contaminación del producto final	Intoxicación del cliente	7	Insuficiente limpieza de las máquinas de llenado	5	Control al tanque colector, pistón de descarga del producto en las máquinas de llenado	2	70												
		Pérdida del producto final	5																	
	Mal sellado			Poliétileno	4	Control de	2	64												

	de las bolsas	producto final	8	de mala calidad Problemas técnicos de las máquinas de llenado	5	la calidad de la bolsa Control de especificaciones de llenado en las máquinas	2	80					
	Bolsas de leche con bajo volumen	Insatisfacción del cliente	3	Problemas técnicos de las máquinas de llenado	5	Control de especificaciones de llenado en las máquinas	3	45					
Almacén	Roturas en las bolsas	Pérdida del producto final	5	Incorrecta manipulación por el operario	3	No se controla	6	90					
	Deficiente enfriamiento	Deterioro del producto final	5	Neveras rotas por mal funcionamiento del difusor	5	Control de la temperatura	3	75					
Distribución	Deterioro del producto final	Producto final fuera de especificaciones	5	Transportación a temperatura a mayor de 10 °C	8	Control de temperatura a antes de salir de las neveras	2	80					
		Pérdidas del producto final	5	Carros transportadores a cielo abierto (no son idóneos)	9	No se controla	7	315	Comprar furgones refrigerados	Inversión			
	Entrega tardía a las bodegas	Insatisfacción del cliente	3	Mala planificación de las rutas de los carros transportadores	5	Control de rutas por el departamento de mercado	5	75					
		Pérdidas del producto final	7	Incumplimiento de las rutas	7	Control de rutas por el departamento de mercado	5	245	Incrementar capacidad de distribución	Inversión y Departamento comercial			

3.3. Revisión y análisis estadísticos de las variables del proceso de leche pasteurizada

Con la aplicación del AMFE se selecciona el proceso de obtención de leche pasteurizada como proceso clave. Un análisis de sus etapas revela las más importantes desde el enfoque de fallos y sus posibles efectos sobre las características de calidad del producto terminado.

A partir de la recopilación de datos en registros de laboratorio de los últimos dos años se analizan las causas fundamentales de pérdida en litros de leche, y valores, en el proceso de leche pasteurizada (figuras 3.3. y 3.4), el 48,3%, lo provoca la variable acidez.

Causas de Pérdidas por concepto de calidad

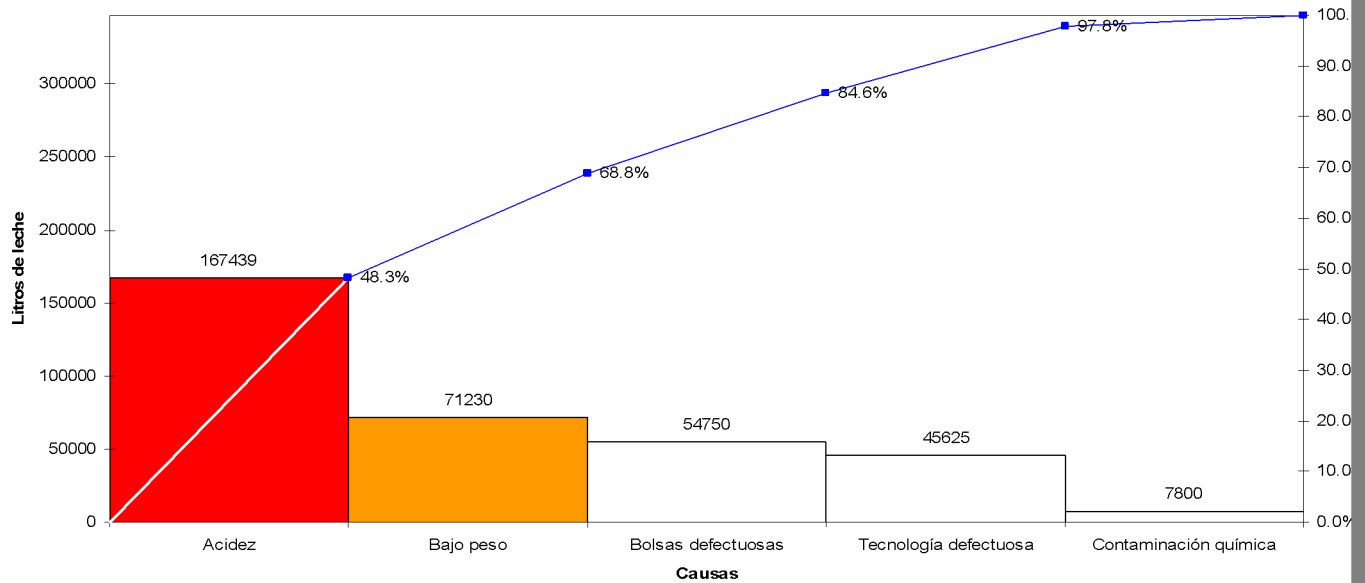


Figura 3.3 Causas de pérdidas en litros por no calidad en el proceso.

Pérdidas en valores por concepto de calidad

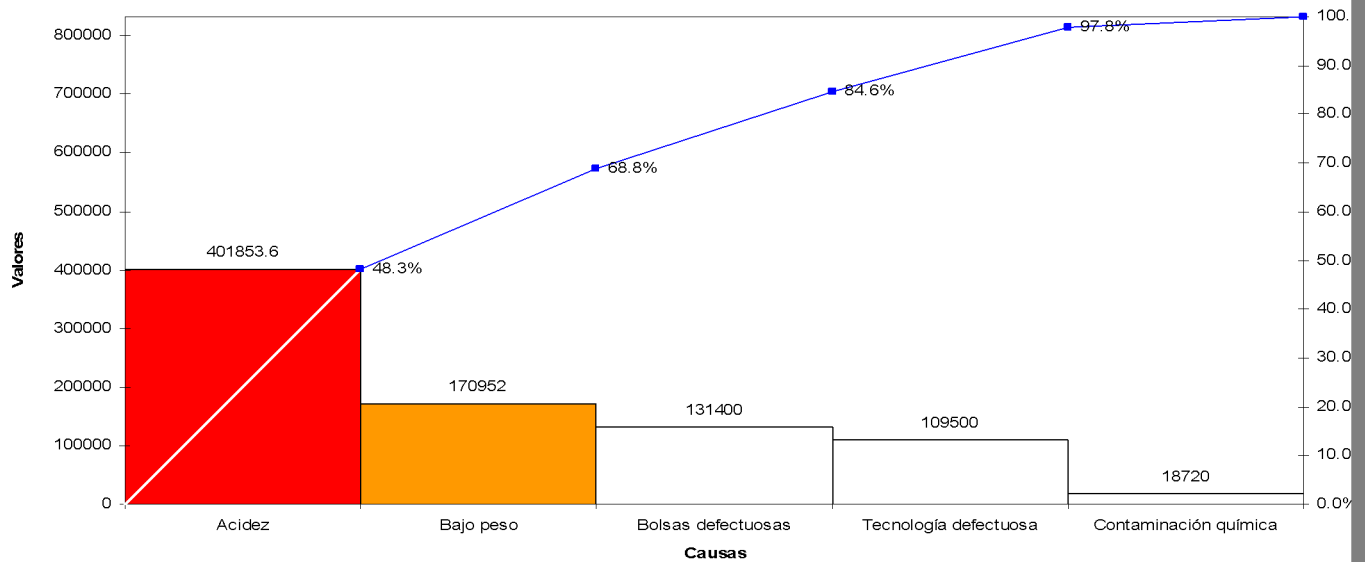


Figura 3.4. Causas de pérdidas en miles de pesos por no calidad en el proceso.

La acidez se presenta a lo largo del proceso, sin embargo, su incidencia es superior en la operación de pasteurización (figura 3.5).

Operaciones críticas en la acidificación de la leche

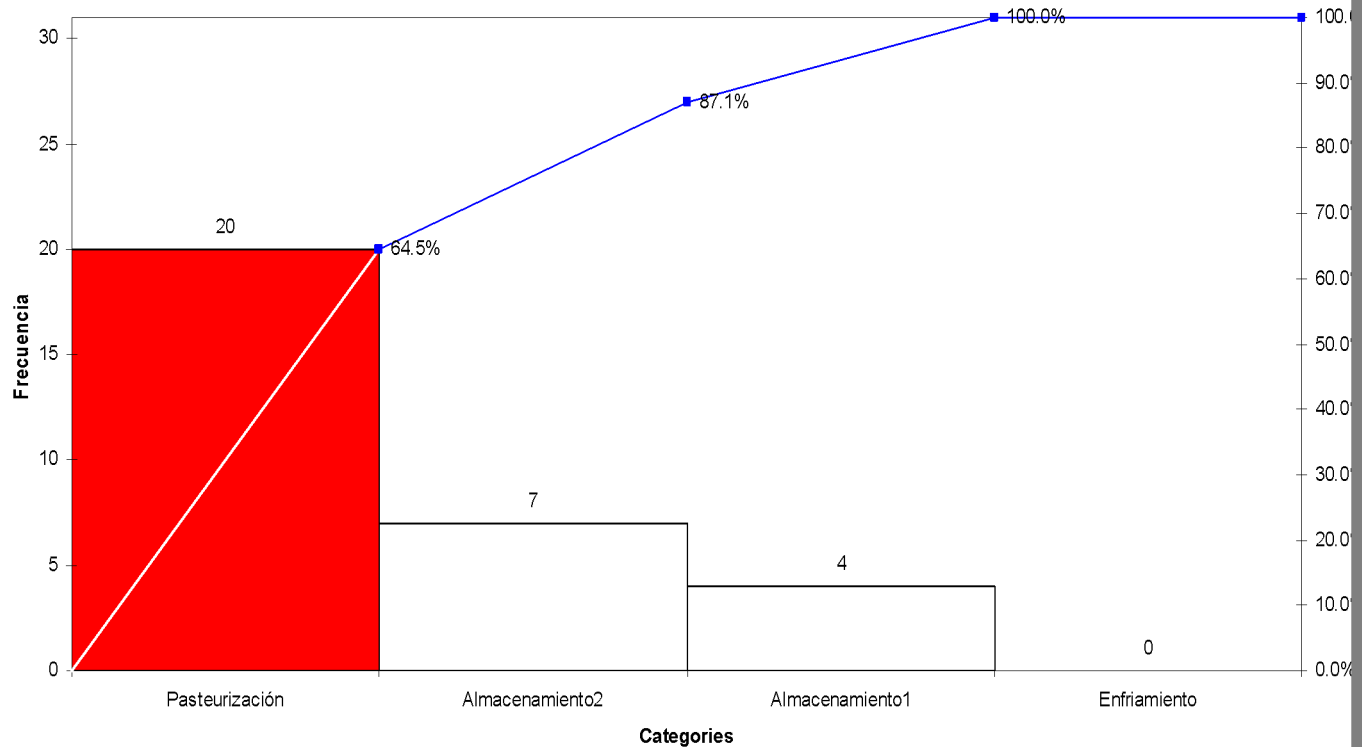


Figura 3.5 Operaciones críticas en la acidificación de la leche en el proceso

En la operación de pasteurización el comportamiento de la variable acidez, está fuera de control estadístico, como se muestra en las figura 3.6. En el caso del GC X, se evidencia un incremento de los valores de la variable a partir del día 18 del mes (observación 91), con la presencia de patrones de comportamiento no aleatorios, que muestran sus máximos valores en los horarios de la tarde- noche (5:00 pm y las 11:00 pm), con puntos críticos (fuera del Límite de Control Superior (LCS= 19,45)) a partir del día 21 (observación 107), situación que persiste en la muestra de las 11:00 pm. Los valores permanecen por encima del Límite Inferior de Especificación (LIE= 13% de acidez), y en la segunda quincena también superan el Límite Superior de Especificación (LSE= 17% de acidez). La distribución que caracteriza el proceso está desplazada hacia valores superiores, tanto de los LCS y LSE, y la media coincide con el LCS (figura 3.7).

Respecto al GC Rm, es perceptible el patrón no aleatorio; también en este gráfico, en la segunda quincena, crecen los valores, por lo que el comportamiento en el GC X comentado anteriormente, es evidencia de un incremento de la variabilidad; por causa de la inestabilidad en los parámetros de proceso que serán valoradas a través del VMEA.

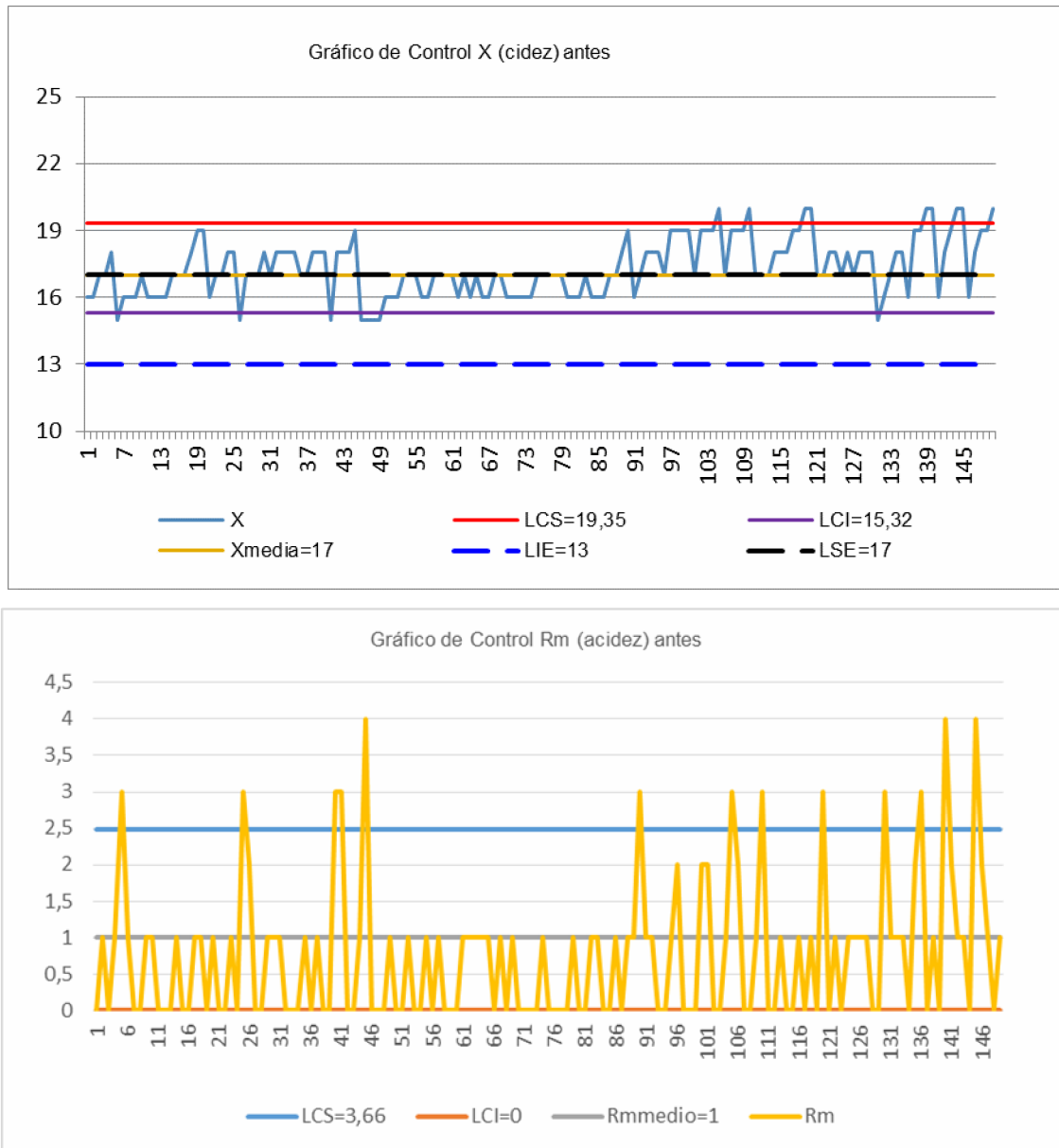


Figura 3.6 Gráfico de control (X- Rm) variable acidez en la operación de pasteurización.

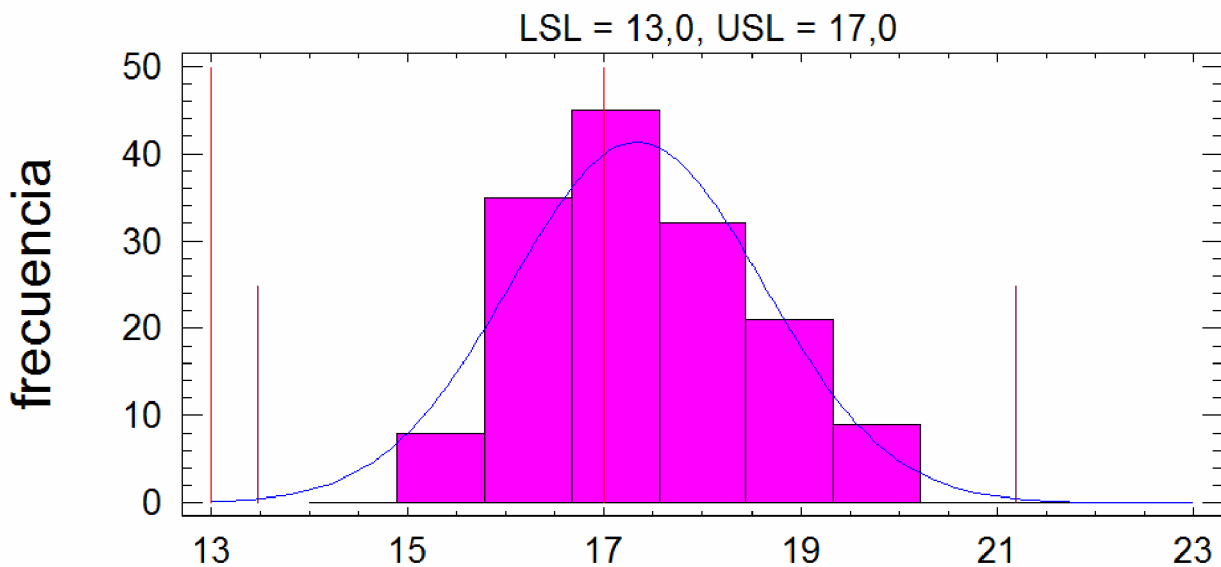


Figura 3.7 Histograma de frecuencia para la variable acidez en la operación de pasteurización.

Con estas condiciones, se calcula la capacidad de proceso (C_p , tabla 2.1), aunque no existe estado control, de esta forma se muestra la magnitud de la incapacidad del proceso $C_p = 0,66$; muy alejado de las exigencias para procesos existentes con parámetros de seguridad (tabla 2.2), un $C_p = 1,50$; resultado que se corresponde con el análisis realizado en los GC (figura 3.6), por lo que no se garantiza en las actuales condiciones cumplir con los requisitos técnicos.

La alta variabilidad antes explicada, representa para el proceso, una pérdida de $L_1 (y) = 0,97$ \$/L de leche (expresión 2.7), esto representa para un mes, donde se procesa como promedio 105 000 L de leche/día, una pérdida de 101 850 \$/mes.

3.4. Análisis modal de variaciones y efectos (VMEA)

Identificación de las causas de inestabilidad del proceso clave

La leche fresca presenta una reacción ácida, de 14 a 17% p/v expresada como ácido láctico, debido al contenido de los ácidos fosfórico, cítrico, carbónico y a la caseína. La acidez titulable de la leche, usualmente se determina con solución patronada de hidróxido de sodio y fenolftaleína como indicador. A medida que las bacterias se desarrollan en la leche, utilizan la lactosa transformándola en ácidos orgánicos principalmente láctico, aumentando así el nivel de acidez. Cuando la acidez alcanza el valor de 0,22%, las proteínas de la leche se

precipitan con el calentamiento, lo cual le impediría ser sometida al proceso de pasteurización. Por esta razón la leche ácida es rechazada por la mayoría de los industriales de la leche. Niveles por debajo de 0.13% p/v, podrían indicar adición de agua, neutralización de la leche con sustancias alcalinas.

Las leches pobres en caseína también presentan niveles de acidez por debajo de lo normal. Niveles por encima de lo normal se presentan por almacenamiento prolongado de la leche sin suficiente refrigeración, o por falta de higiene en su manejo (Piñeros Gómez, Téllez Iregui, & Cubillos González, 2005)

Las causas de variabilidad en la acidez para el proceso de la leche pasteurizada se determinan con los expertos seleccionados en el desarrollo del método AMFE. Se determinó como KPC a la acidez de la leche pasteurizada y como sub KPC a

Se comprobó estadísticamente la concordancia entre los expertos como se puede observar en el Anexo 8.

1. Desglose detallado y causal de las KPCs.

La KPC y las subKPC seleccionadas con sus respectivos factores de ruido se muestran en la figura 3.8. En la tabla 3.2 se muestra la descripción de las Sub-KPC.

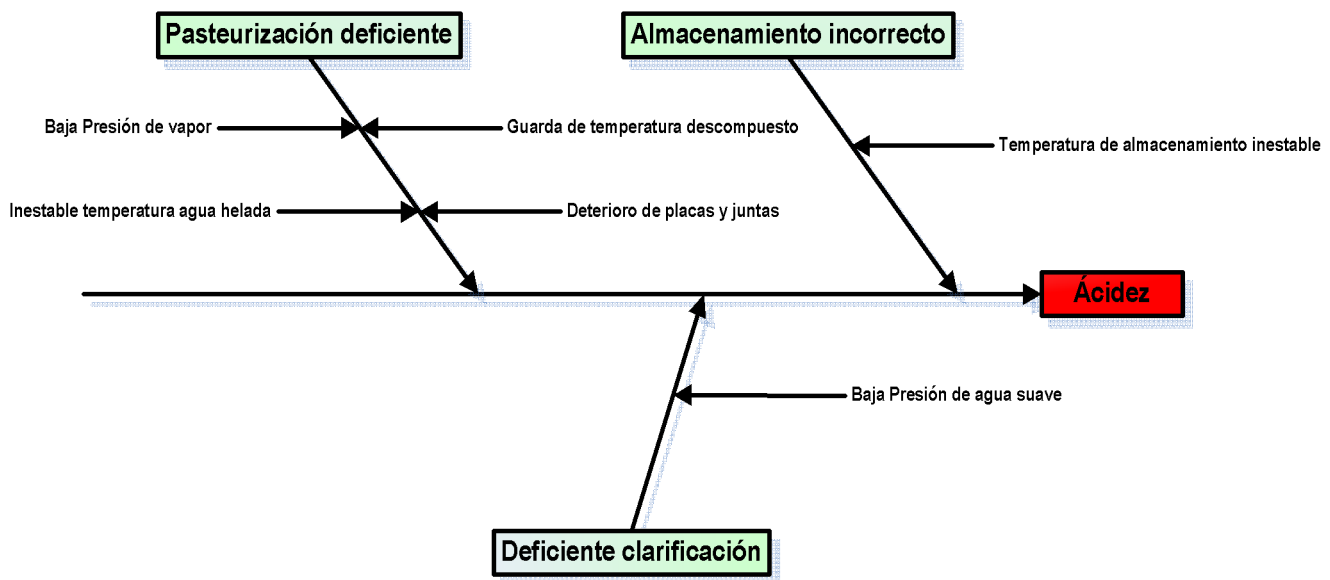


Figura 3.8 Diagrama causa-efecto para la KPC y las sub KPC en la variabilidad del proceso

Tabla 3.2 Descripción de las Sub-KPC

Sub-KPC	Descripción
Almacenamiento incorrecto	La leche cruda debe estar almacenada a una temperatura de 4 a 6 grados Celsius, si esto no ocurre así favorece el desarrollo microbiológico de la leche y por tanto contribuye a la acidificación
Pasteurización deficiente	Si la pasteurización es deficiente no detiene el desarrollo microbiológico de la leche y contribuye a la acidificación
Deficiente clarificación	La baja presión de agua suave contribuye a la no separación de los objetos extraños de la leche y esto estimula el desarrollo microbiológico.

El resultado final de la aplicación de VMEA, a partir de los cálculos de la sensibilidad de la KPC respecto a la sub- KPC y de la sub- KPC respecto a los NF se muestra en la tabla 3.3. Se presenta la magnitud de la variación de cada ruido (VRPN), y resultan representativos los NF relacionados con la Pasteurización: presión de vapor, agua helada, guarda temperatura, placas y juntas; por lo que constituyen los factores que provocan las mayores pérdidas en el proceso. A partir de este análisis se definen las acciones a ejecutar (tabla 3.4) para reducir los NPR >100, determinados en el AMFE

Tabla 3.3 Resumen aplicación VMEA en el proceso de leche pasteurizada

KPC	Sub-KPC	Sensibilidad KPC a Sub-KPC	NF	Sensibilidad Sub-KPC a NF	Tamaño Variación NF	VRPN (NF)	VRPN (Sub-KPC)
Acidez	Almacenamiento	7	Temperatura	6	2	7056	7056
	Pasteurización	10	Presión vapor	9	8	518400	2166400
			Agua helada	9	4	129600	
			Guarda temperatura	10	10	1000000	
			Placas y juntas	9	8	518400	
	Clarificación	8	Presión agua suave	7	4	50176	50176

Tabla 3.4 Plan de acción para el mejoramiento de la acidez en el proceso

NO	DEFICIENCIA	ACCIÓN	CUMPLIMIENTO	PARTICIP.	RESP.
1	Inadecuada temperatura de almacenamiento.	1- Garantizar el almacenamiento de leche sin pasteurizar a una temperatura de 4 a 6 grados Celsius. 2-Correcto flujo de agua helada a 2 grados Celsius.	Permanente	Técnico de laboratorio, panelista y operador de frío.	Jefe de planta, Jefe de Laboratorio y Jefe de mantenimiento
2	Baja presión de vapor en la pasteurización	Mantener presión de vapor mayor a 3 kg f/cm ²	Permanente	Operador de caldera y panelista	Jefe de turno y jefe de mantenimiento
3	Inestable temperatura de agua helada en la pasteurización	Correcto flujo de agua helada a 2 grados Celsius.	Permanente	Panelista y operador de frío	Jefe de turno y jefe de mantenimiento
4	Ausencia de un guarda de temperatura en la pasteurización	Adquirir un nuevo guarda de temperatura	Tercer trimestre 2015	Instrumentistas	Jefe de mantenimiento
5	Placas y juntas del pasteurizador deterioradas	Adquirir placas y juntas	Tercer trimestre 2015	Mecánicos y tecnólogos	Jefe de mantenimiento
6	Baja presión de agua suave en la clarificadora	Mantener presión de agua suave que garantiza la separación de objetos extraños de la leche	Permanente	Panelista y operador de agua	Jefe de turno y jefe de mantenimiento

3.5. Análisis de la contribución a la reducción de pérdidas en la producción

Posterior a la ejecución de las mejoras en el proceso de Pasteurización, a través de acciones que afrontan la variabilidad de la acidez, se verifica la contribución a la reducción de pérdidas en la producción.

En la figura 3.9, el GC X, se observa que, el proceso aunque no logra el estado de control, si se reduce la amplitud de los Límites de Control, respecto al GC inicial (3.6), el LCS se puede

considerar del mismo valor que el LSE, con una distribución menos asimétrica (figura 3.10), sin embargo persisten adherencia tanto a la línea central como al LCS. En el GC Rm, se corrobora la reducción de variabilidad, pero el patrón no es aleatorio. La Cp, se mantiene en 0,66, no se redujo el recorrido medio.

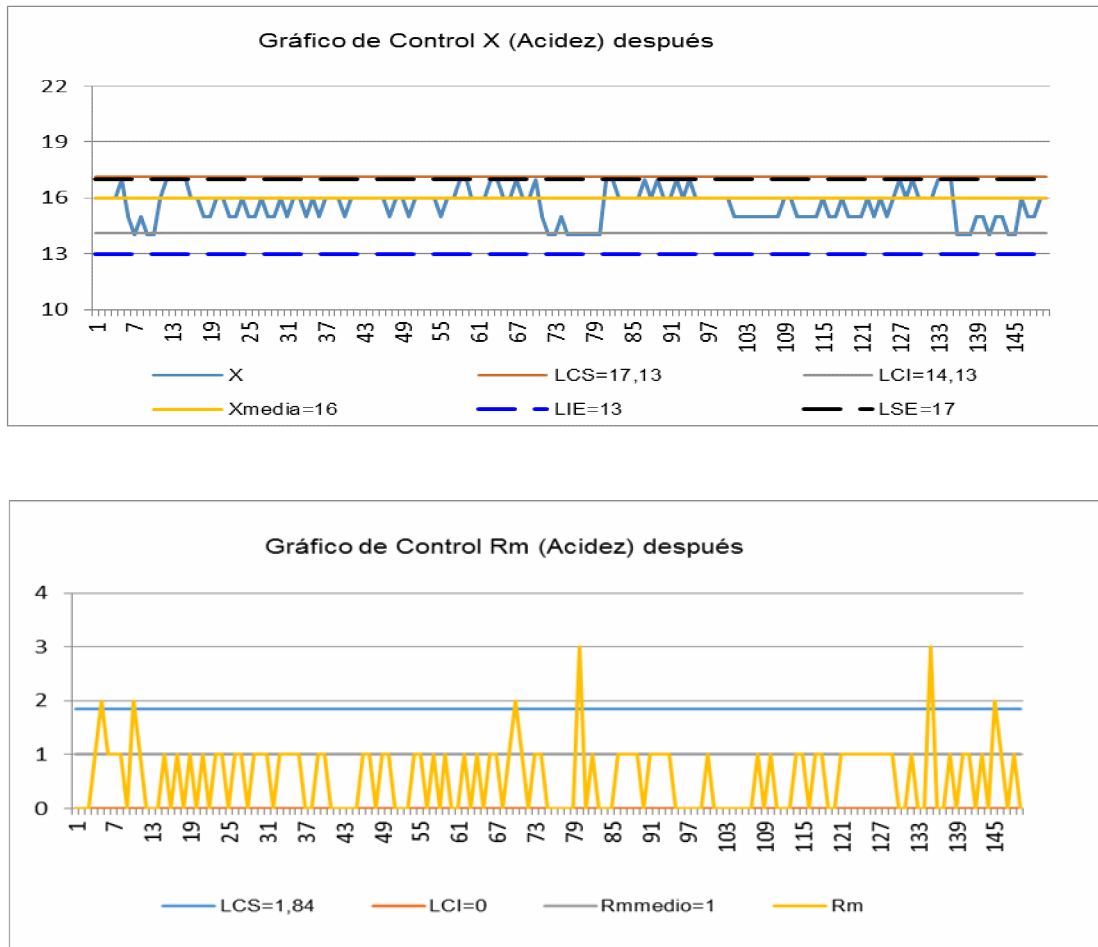


Figura 3.9 Gráfico de control (X- Rm) variable acidez en la operación de pasteurización.

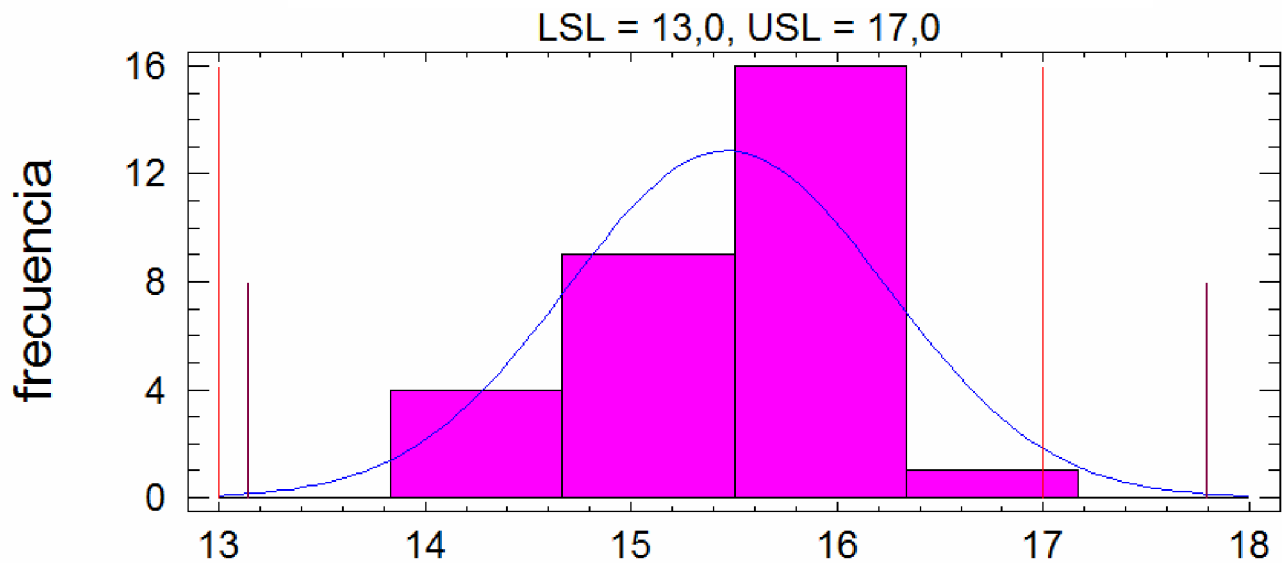


Figura 3.10 Histograma de frecuencia para la variable acidez en la operación de pasteurización.

El logro en la disminución de la variabilidad, se expresa a través de la Función de pérdida (expresión 2.7). Se obtuvo una $L_2(y) = 0,26$ \$/L de leche; lo cual significa un ahorro de 0,71 \$/L de leche, y una razón de mejora de 3,7. Todo lo anterior, si se considera un volumen de producción de 105 000 L de leche/día, se obtiene una reducción en las pérdidas iniciales de 74 550 \$/mes. Lo anterior confirma la aseveración de Juran & Gryna (2001), respecto a que los pequeños incrementos de rendimiento, en las industrias de proceso, dado los grandes volúmenes de producción, representan importantes disminución de pérdidas.

Se documenta el AMFE (tabla 3.6), lo que implica el recalcu del NPR (expresión 2.1), a partir de la mejorar lograda con la ejecución de las acciones en el proceso de Pasteurización, una vez evaluada su efectividad.

Tabla 3.6. Documentación del AMFE posterior a implementar las acciones en el proceso

Pasos del proceso	Modo de fallo	Efectos del fallo	S	Causas del fallo	O	Controles actuales	D	NPR	Acción Correctora	Responsable	GO D	NPR	
Limpieza química	Accidentes laborales	Quemaduras en los trabajadores	9	Incorrecta manipulación de la sosa cáustica	4	No se controla	10	360	Capacitación	Técnico o RH	89	89	
		Fallecimiento de los trabajadores	10	Elevada presión de vapor	4	Control del nivel de vapor	2	80					
	Unión de los componentes de la limpieza con la leche	Pérdida del producto final	3	Negligencia del operario	3	No se controla	10	90					
				Incumplimiento de la norma de limpieza	7	Control de las áreas, equipos, tanques y carros transportadores	2	98					
	Los productos de la limpieza no alcanzan la temperatura adecuada	Incorrecta a limpieza química	7	Presión de vapor descendente	10	Control del nivel de vapor	1	70					
	Recepción de la leche	Entrada tardía de la leche	Posible acidificación de la leche	8	Llegada tarde de los carros cisternas por roturas	3	Control del estado técnico de los carros transportadores	2	24				
Llegada tarde de los carros cisternas por no cumplir con las rutas					4	Control de las rutas por el departamento de acopio	1	16					
Equipos y área de recibo en mal estado higiénico o sucios		Contaminación de la leche con microorganismos y suciedades	8	No revisión de los equipos y el área de recibo por el responsable del control de calidad y	5	Control del estado higiénico de los equipos y áreas de trabajo por el jefe de turno de producción	2	80					
		Pérdida del producto por saladeros	8										

		en tuberías		el jefe de turno de producción										
		Demoras en el proceso	6											
Recepción de la leche	Recibo de leche de mala calidad por encontrarse fuera de especificaciones	Producto final fuera de especificaciones de calidad (NRIAL 021:02)	4	Falta de experiencia del personal del laboratorio	2	No se controla	10	80						
		Equipos técnicos no inspeccionados			5	Inspección de equipos técnicos	4	80						
	Pérdida del producto final por estar la materia prima fuera de especificaciones			7	No se mide la densidad en los carros cisternas por no tener lactodensímetro	7	Control de densidad al llegar a la empresa	2	98					
	Cuellos de botella en el patio del recibo	Demoras en el proceso		3	Mal funcionamiento de las bombas por falta de mantenimiento		Control del estado de las bombas		84					
		Acidificación de la leche		7										
Pérdida del producto final por contaminación			7											
Incorrec to filtrado de la leche	Producto final de mala calidad por presencia de impurezas		5	Mal estado técnico de la malla del filtro	7	No se controla	10	350	Cambiar la malla	Inversiones	30	30		
Prolifera ción microbi ana excesiva	Intoxicación del cliente		8	Elevadas temperaturas de transportación de la leche en los carros cisternas	5	Control de temperatura en las vaquerías	2	80						
Acidificación de la	Pérdida del producto		8	Elevadas temperat	5	Control de temperatur a en las	5	200	Enfriamiento de la leche en vaquería	MINA GRI	65	65		

	leche	final		uras de transportación de la leche		vaquerías			s			
	Accidentes laborales en el laboratorio	Quemaduras en trabajadores	7	Incorrecta manipulación de los medios de trabajo	2	Inspección de instalaciones y chequeo de medios de trabajo	5	70				
		Inhalación de productos tóxicos	7									
Disminución de temperatura en el intercambiador de calor	Contaminación de la leche con microorganismos	Pérdida del producto final por contaminación	5	Falta de higiene por deficiente limpieza del intercambiador de calor	8	Control de la limpieza del intercambiador de calor	4	160	Limpieza efectiva	Panelista	22	22
		Intoxicación del cliente	6	Mal funcionamiento de las válvulas neumáticas por falta de mantenimiento	5	Control del estado de las válvulas por el instrumentista	3	90				
	Acidificación de la leche	Pérdidas del producto final	7	No se mantiene la temperatura adecuada por deficiente homogenización por parte de los reductores en el banco de hielo	5	Control de la temperatura de los bancos de hielo	2	70				
				No se alcanza la temperatura adecuada por falta de amoníaco en los bancos de hielo	5	Control de la temperatura en los bancos de hielo	2	70				
	Derrame de leche	Pérdida del producto final	5	Mal funcionamiento de las válvulas neumáticas	7	Control del estado de las válvulas por el instrumentista	2	70				

				as por falta de mantenimiento								
Almacena miento en silos	Contaminación de la leche con microorganismos	Pérdida del producto final	7	Falta de higiene por deficiente e limpieza química	5	Control de la limpieza de los silos	2	70				
	Acidificación del producto	Pérdida del producto final	9	Aumento de temperatura por demoras en la utilización de la leche	7	Control de temperatura	5	315				
Reconstitución	No se realiza una adecuada reconstitución de la leche	Mala calidad del producto porque no se logra una disolución idónea	5	No trabajan con la mesa de reconstitución por no tener bombas	5	Control del estado de las bombas	3	75				
		Mala calidad del producto final (fuera de especificaciones)	Incorrecto cálculo del nivel de densidad	4	Revisión por el tecnólogo y el jefe de turno de producción	4	80					
			Negligencia del trabajador	4	Revisión por el tecnólogo y el jefe de turno de producción	4	80					
Clarificación	Incorrec ta limpieza de la leche	Acidificación	8	Baja presión de agua suave	6	Control del estado del motor eléctrico	6	288	Mantener presión	Jefe turno y jefe mtto	45	45
Homogeneización	Incorrec ta homogeneización del producto	Producto final fuera de especificaciones	5	Insuficiente presión del homogeneizador por falta de aceite	6	Control de presión del homogeneizador	3	90				
				Insuficiente presión del homogeneizador por salidas en los sellos	6	Control de presión del homogeneizador	3	90				

Pausterización	Insuficiente inhibición de carga microbiana por incorrecto tratamiento térmico	Acidificación de la leche	10	Baja presión de vapor	9	No se controla	10	1000	Mantener presión en parámetros	Jefe turno y jefe mtto	90	90
				Inestabilidad en la temperatura del agua helada	9	No se controla	10		Mantener flujo de agua	Jefe turno y jefe mtto	45	
				Guarda de temperatura roto	10	No se controla	10		Adquirir	Jefe mtto	85	
				Placas y juntas en mal estado	9	No se controla	10		Adquirir	Jefe mtto	80	
Almacenamiento en tanques	Proliferación microbiana	Enfermedades gastrointestinales de los clientes	8	Demoras en la utilización de la leche	5	Conteo de microorganismos y coliformes	2	80				
	Acidificación del producto	Pérdida del producto final	7	Demoras en la utilización de la leche	4	Conteo de microorganismos y coliformes	3	84				
Envasado	Contaminación del producto final	Intoxicación del cliente	7	Insuficiente limpieza de las máquinas de llenado	5	Control al tanque colector, pistón de descarga del producto en las máquinas de llenado	2	70				
		Pérdida del producto final	5									
	Mal sellado de las bolsas	Pérdida del producto final	8	Polietileno de mala calidad	4	Control de la calidad de la bolsa	2	64				
				Problemas técnicos de las máquinas de llenado	5	Control de especificaciones de llenado en las máquinas	2	80				
Bolsas de leche con bajo volumen	Insatisfacción del cliente	3	Problemas técnicos de las máquinas de llenado	5	Control de especificaciones de llenado en las máquinas	3	45					
Almacenamiento en nevera	Roturas en las bolsas	Pérdida del producto final	5	Incorrecta manipulación por el operario	3	No se controla	6	90				

	Deficiente enfriamiento	Deterioro del producto final	5	Neveras rotas por mal funcionamiento del difusor	5	Control de la temperatura	3	75				
Distribución	Deterioro del producto final	Producto final fuera de especificaciones	5	Transportación a temperatura mayor de 10 °C	8	Control de temperatura a antes de salir de las neveras	2	80				
		Pérdidas del producto final	5	Carros transportadores a cielo abierto (no son idóneos)	9	No se controla	7	315	Comprar furgones refrigerados	Inversión	25	25
	Entrega tardía a las bodegas	Insatisfacción del cliente	3	Mala planificación de las rutas de los carros transportadores	5	Control de rutas por el departamento de mercado	5	75				
		Pérdidas del producto final							7	Incumplimiento de las rutas	7	Control de rutas por el departamento de mercado

Las mejoras logradas en el proceso, respecto a la variabilidad, y expresadas en la amplitud del Gráfico de Control (X- Rm), y la reducción en las pérdidas L (y), así como el cambio que se alcanzó en el NPR, para documentar el AMFE, se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Comparación de la reducción de variabilidad y pérdidas en el proceso

GC (X- Rm)	Antes	Después	L ₁ (y)	L ₂ (y)
	LCS- LCI			
GC X	4,03	3	0,97	0,26
GC Rm	3,66	1,84		
AMFE				
NPR	1000	90		

3.4. Conclusiones parciales

1. La aplicación del AMFE permitió determinar el proceso clave, en este caso, el proceso de leche pasteurizada, así como la operación de mayor relevancia: la pasteurización con un NPR de 1000.
2. El análisis de los gráficos de control permitió evaluar la inestabilidad del proceso, el cálculo de la capacidad ($C_p = 0,66$), evidenció la inaptitud para asumir las especificaciones técnicas, y la Función de Pérdida ($L(y)$) mostró la magnitud de las pérdidas por variabilidad en la operación de pasteurización, $L_1(y) = 0,70$ \$/L de leche pasteurizada, para un valor total en el mes de \$ 101 850.00.
3. El desarrollo del VMEA permitió analizar las causas de variabilidad de la acidez de la leche pasteurizada: inadecuada temperatura de almacenamiento, baja presión de vapor, inestable temperatura de agua helada, ausencia de un guarda de temperatura, placas y juntas deterioradas y baja presión de agua suave.
4. La disminución de la variabilidad, se expresa a través de la Función de Pérdida, se logró con la ejecución de acciones, una $L_2(y) = 0,26$ \$/L de leche; lo cual significa un ahorro de 0,71 \$/L de leche, y una razón de mejora de 3,7; que considerando el volumen de producción de 105 000 L de leche/día, se logró una reducción de las pérdidas iniciales en 74 550 \$/mes. Se confirma de esta forma el criterio de Juran & Gryna (2001), respecto a las industrias de proceso, un pequeño incremento de rendimiento, resulta un importante efecto económico.

CONCLUSIONES

1. La revisión y consulta a la literatura especializada permitió la construcción del marco teórico referencial de la investigación. Se consultaron fuentes primarias y terciarias en su mayoría de los últimos 10 y 5 años respectivamente, la literatura no es abundante en cuanto al desarrollo conjunto de métodos de análisis de variabilidad aunque si ofrece documentación suficiente para cada método por separado.
2. Para el análisis de variabilidad en el proceso de leche pasteurizada, se propuso el análisis estadístico, el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) y el Análisis Modal de Variaciones y Efectos (VMEA). A través del AMFE, se selecciona el proceso clave con las operaciones críticas, en el cual se evalúa el estado de control de la variable resultado de proceso, y posteriormente se desarrolla el VMEA con el objetivo de detectar los Factores de Ruidos (NF), para disminuir la variabilidad en dicho proceso. La evaluación de las pérdidas se realiza con la Función de Pérdida de Taguchi.
3. Se desarrolló el AMFE en el proceso de obtención de leche pasteurizada en la Empresa de Productos Lácteos "Río Zaza", donde se determinó que la operación de mayor relevancia es la pasteurización con un NPR de 1000. La aplicación de los gráficos de control, el cálculo de la capacidad ($C_p = 0,66$) y la Función de Pérdida $L_1(y) = 0,70$ \$/L de leche, permitió evaluar la inestabilidad y la incapacidad del proceso para cumplir las especificaciones técnicas, con una pérdida total de \$ 101 850.00.
4. El VMEA permitió el análisis de las causas de variabilidad de la acidez de la leche pasteurizada: inadecuada temperatura de almacenamiento, baja presión de vapor, inestable temperatura de agua helada, ausencia de un guarda de temperatura, placas y juntas deterioradas y baja presión de agua suave. Con la ejecución de acciones, se redujeron las pérdidas por la variabilidad del proceso $L_2(y) = 0,26$ \$/L de leche; lo cual significa un ahorro de 0,71 \$/L de leche, con una razón de mejora de 3,7; para un volumen de producción de 105 000 L de leche/día, se logró una reducción de las pérdidas iniciales en 74 550 \$/mes.

RECOMENDACIONES

1. Extender la aplicación conjunta del AMFE y el VMEA al resto de los procesos de la Empresa de Productos Lácteos "Río Zaza" con el objetivo de reducir pérdidas por concepto de calidad mediante la detección y reducción de la variabilidad en las operaciones críticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Antonio García, F. (2004). Breve historia de la administración de la producción y de las operaciones. Retrieved from <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r91462.PDF>
2. Aragón, N. (2004). Procedimientos de mejoramiento de la calidad. Monografía. Facultad de ingeniería, Universidad de Sancti Spíritus José Martí Pérez, Cuba.
3. Arcelus, J. F. & Rahim, A. M. (1996). Reducing Performance Variation in the Canning Problem. Theory and Methodology. European Journal of operational research.
4. Beltrán Sanz J. et al. (2001). Guía para una gestión basada en procesos. Instituto Andaluz de Tecnología. ISBN. 84-923464-7-7
5. Besterfield, D. H. (2009). *Control de Calidad* (8va ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
6. Bravo Carrasco, J. (2009a). *Gestión Avanzada de Procesos* (1ra ed.). Santiago de Chile: EDITORIAL EVOLUCIÓN S.A.
7. Bravo Carrasco, J. (2009b). *Gestión de Procesos* (1ra ed.). Santiago de Chile: EDITORIAL EVOLUCIÓN S.A.
8. Bravo Carrasco, J. (2012). *Gestión de Procesos en Chile* (1RA ed.). Santiago de Chile: EDITORIAL EVOLUCIÓN S.A.
9. Cantú, H. (2001). Desarrollo de una cultura de calidad. Ed. McG raw Hill Interamericana, México.
10. Cardoso, N. (2012). Mejoramiento de la gestión energética y de la calidad en la Empresa Provincial de Materiales de la Construcción. Tesis en opción al grado académico de máster en dirección. Centro de Estudios en Técnicas Avanzadas en Dirección. Universidad José Martí Pérez, Sancti Spíritus, Cuba.
11. CLavijo, A. (2001). Análisis de riesgos y puntos críticos de control: el enfoque más moderno para garantizar la seguridad alimentaria. Revista Cubana Alimentaria.
12. CNICA-MINAL 2008. Consulta con la Alta dirección del CNICA. Ciudad de la Habana.
13. CODEX. (2000). Directrices para la aplicación del Sistema HACCP. España, 5- 10p.
14. Crisóstomo, J. (2002). Plan de mejoramiento continuo para empresas de fabricación de puertas. Tesis para optar por el título de Ingeniero mecánico. Facultad de ciencias de la ingeniería. Universidad Austral de Chile. Chile.
15. Crosby, P.B. (1984). Quality Without Tears. México: Mc Graw- Hill.
16. Crosby, P.B. (1980). Quality is free. The art of making quality certain. New American library, USA.
17. Crosby. P.B. (1979). La calidad no cuesta. México: Mc Graw- Hill.

18. Colectivo de autores. (2011). *Situación y tendencias mundiales en la producción de leche*. Germany: International Farm Comparison Network (IFCN) Retrieved from <http://www.ifcndairy.org/media/pdf/IFCN-Dairy-Report-2011press-release-spanish.pdf>.
19. Colectivo de autores. (2012). *Situación de la lechería en América Latina y el Caribe en 2011*. Chile: FAO y FEPALE Retrieved from http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Dairy/Documents/Paper_Lecher%C3%ADa_AmLatina_2011.pdf.
20. Colectivo de autores. (2010). Gestión de la calidad. Extraído el 5 de noviembre del 2011 desde [http://www.grupocassa.com/?cat=1014Gestión de Calidad](http://www.grupocassa.com/?cat=1014Gesti3n%20de%20Calidad).
21. Cuevas, R. (2008). *Ingeniería de alimentos, calidad y competitividad en sistemas de la pequeña industria alimentaria con énfasis en América Latina y el Caribe*: FAO.
22. Cuba. (1988). NC-77-22-13. Métodos de ensayo, determinación de la viscosidad aparente
23. Cuba. (2001). NC ISO 750: 2001. Productos de frutas y vegetales, determinación de la acidez valorable.
24. Cuba. (2011). NC 814:2011 Concentrado de tomate. Especificaciones.
25. Cué M., J.L. (1987). Estadística. La Habana: Elab. Universidad de la Habana.
26. Deming, E. W. (1989). Calidad, productividad y competitividad. La salida de la crisis. Madrid: Editorial Diaz de Santos.
27. De Jesús, L. (2012a). Agujeros negros en la vía láctea. Retrieved from <http://www.bohemia.cu/2012/02/21/encuba/produccion-leche-fresca.html>
28. De Jesús, L. (2012b). Las manos que mecen la cuna. Retrieved from <http://www.bohemia.cu/2012/02/21/encuba/acopio-manos-mecen-cuna.html>
29. Evans, J & Lindsay, W. (2000). La administración y el control de la calidad. Trad. por Gabriel Sánchez García. Cuarta edición. México, Thomson. 786 p.
30. FAO. (2012). GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS EN EXPLOTACIONES LECHERAS Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/015/ba0027s/ba0027s00.pdf>
31. FAO. (2013). Análisis de los Precios Internacionales de los Alimentos y su Impacto en México. Retrieved from <http://smye.info/faomex/precios/apps/boletin/Boletin%20trimestral%20No.3.pdf>
32. Fernández Hatre, A. (2005). *Técnicas Avanzadas de Calidad* (1ra ed.). Asturias, España: Instituto de Fomento Regional.
33. García, I. (2014). Incrementar la producción de leche: Un desafío para Cuba. Retrieved from http://www.radioreloj.cu/index.php?option=com_content&view=article&id=15679:incrementar-la-produccion-de-leche-un-desafio-para-cuba&catid=34:economia&Itemid=165
34. García Ramírez, R. A. (2011). Desarrollo de la cadena de valor para los productos lácteos. Modelo productivo para las MIPYME del sector lácteo de El Salvador. Retrieved from http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=0CDwQFjAH&url=http%3A%2F%2Fwww.minec.gob.sv%2Findex.php%3Foption%3Dcom_phocadownload%26view%3Dcategory%26id%3D53%3Adesarrollo-cadenas%26download%3D503%3Ainforme-

- [lacteo%26Itemid%3D63&ei=a7CFVK3WOoGfggTDy4O4BQ&usg=AFQjCNFSsycULOLoxpJLPVCIOJVerXHdIQ](#)
35. García, W. (2004). Calidad y trazabilidad en el sector agroalimentario. 2ª Jornada de Actualización Ganadera, Balcarce, Argentina [Noviembre, 2007]. Disponible en: http://www.vet-uy.com/articulos/artic_traza/004/traza004.htm
 36. Gil Barceló, C. (2010). La crisis en el sector lácteo. Retrieved from http://www20.gencat.cat/docs/DAR/DE_Departament/DE02_Estadistiques_observatori/s/24_Estudis_i_documentos/01_Novetats_documentals/Fitxers_estatics/Crisis-mundial-sector-lacteo-BusinessMilk.pdf
 37. Gómez, B. (2007). Procedimiento para la mejora de la calidad del proceso industrial cubano de la caña de azúcar. Tesis doctoral. Facultad de ingeniería industrial, Universidad José Martí Pérez, Sancti Spíritus, Cuba.
 38. Gómez, B. (2010). Memorias de la asignatura Ingeniería de la calidad CPT. Facultad de ingeniería, Universidad de Sancti Spíritus José Martí Pérez, Cuba.
 39. Gómez, B. (2010). Memorias de la asignatura Mejoramiento de la calidad CPT. Facultad de ingeniería, Universidad de Sancti Spíritus José Martí Pérez, Cuba.
 40. Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2004). *Control estadístico de calidad y seis sigma* (1ra ed.). México: McGraw-Hill Companies, Inc.
 41. Harrington, H. (1988). ¿Por qué mejorar? Como incrementar la calidad-productividad en su empresa. Primera edición en español ed. México, Roberto Hass García. pp. 1-10.
 42. Harrington, H.J. (1993). El mejoramiento de los procesos en la empresa. Colombia: Mc.Graw Hill S.A.
 43. Harrington, H.J. (1997). Administración Total del Mejoramiento Continuo: la Nueva Generación. Colombia: Mc.Graw Hill INTERAMERICANA S.A.
 44. Hernández, R. Metodología de la investigación. Cuarta edición.
 45. Hidalgo, J. R. (2003). Trazabilidad y calidad alimentaria. Extraído el 4 de marzo de 2008 desde http://www.consumaseguridad.com/web/es/normativa_legal/2003/04/02/5789.php
 46. Ishikawa, K (1989). ¿Qué es el control total de calidad? La Modalidad Japonesa. Ed. de Ciencias Sociales, La Habana.
 47. ISO 9000:2000. Vocabulario.
 48. ISO 9001:2000 Normas para la Gestión de la Calidad y el Aseguramiento de la calidad.
 49. ISO 9004:2000 Gestión de la Calidad y elementos de los Sistemas de Calidad. Parte 1. Directrices.

50. Ivancevich, J. (1996). et al. Gestión, calidad y competitividad. McGraw-Hill Interamericana de España, S.A. Madrid. España.
51. IPS, C. (2014). Bases para lograr una cadena lechera en Cuba. Retrieved from http://www.ipscuba.net/index.php?option=com_k2&view=item&id=9133:bases-para-lograr-una-cadena-lechera-en-cuba&Itemid=42
52. Juran, J. M., Godfrey, A. B., Hoogstoel, R. E., & Schilling, E. G. (2001). *Manual de Calidad de Juran* (5ta ed.). España: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U.
53. Juran, J. M. & Gryna, F. M. (1981). Planificación y análisis de la calidad. Editorial Reverté, España.
54. Juran, J.M & Gryna, F. M. (2001). *Quality Control Handbook*. 5ta ed., Ed. Mc Graw-Hill/ Interamericana de España, Madrid, Cap 3, 6, 13, 15, 16, 22, 27.
55. Juran, J.M. (2001). ¿Por qué fracasan las iniciativas de la calidad?, Harvard Deusto Business Review, No. 63, 1994, p. 58-62.
56. Kackar, R. N. (1985). Off- line Quality Control, Parameter Desing, and the Taguchi method. *Journal of quality technology*.
57. Lawson, J. & Erjavec, J. & Madrigal, J. L. (1992). Estrategias experimentales para el mejoramiento de la calidad en la industria. Grupo editorial Iberoamérica. S.A de C.V.
58. Lochaer, R. H & Mator, J.E. Designing for quality. An introduction to the best of Taguchi and western methods of statistical experimental desing. ASQC Quality Press American Society for quality control Milwaukee. Wisconsin. Edit. Quality Resources. A division of the Kraus Organization Limited White Plains. New York.
59. López Soriano, M. (2009). *Análisis de la agrocadena de lácteos en la zona sur de Costa Rica*. Tesis de Maestría, CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA, Turrialba, Costa Rica. Retrieved from <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3270e/A3270e.pdf>
60. Min, L., Shengkui, Z., Jianbin, G., & Chunbo, Y. (2014). Reliability Analysis Approach for Variation by Integrating FMEA with VMEA. Retrieved from
61. MINCEX. (2014). *Programa de apoyo al fortalecimiento de cadenas agroalimentarias a nivel local (AGROCADENAS)*.
62. Molina, D. O. (2010). Análisis de la Cadena de Valor Láctea de Honduras 2010. Retrieved from <http://www.pymerural.org/cadena/lactea.pdf>
63. Montgomery, D. C. (2005). *Introduction to Statical Quality Control* (5ta ed.). United State of America: Jhon Wiley & Sons, Inc.
64. Paredes G, L. B. (2010). PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN VENEZUELA EN EL CONTEXTO SOCIO ECONÓMICO ACTUAL. *Mundo Pecuario*, Vol.6, No.2, 127-142.
65. Partido Comunista de Cuba. (2011). *Líneamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución*. La Habana: Editora Política.

66. Piñeros Gómez, G., Téllez Iregui, G., & Cubillos González, A. (2005). *LA CALIDAD COMO FACTOR DE COMPETITIVIDAD EN LA CADENA LÁCTEA*. Tesis de Maestría, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Bogotá.
67. Ramiro González, M. C. (2005). *ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN ESPAÑA DEL DISEÑO ROBUSTO, Y APLICACIÓN DE SU METODOLOGÍA A UNA EMPRESA DEL SECTOR AERONÁUTICO A TRAVÉS DE LAS HERRAMIENTAS VMEA Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS*. Tesis de Maestría, Universidad de Sevilla, España. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v77n162/a39v77n162.pdf>
68. Ritchie, D., Neves, C., Alfonso, T., Begazo, O., Luna Victoria, I., & Uribe, J. (2013). *Ganadería de doble propósito. Propuesta para pequeños productores colombianos* (1ra ed.). Colombia: Ediciones ESAN.
69. Tejera Díaz, L. (2012). ¿Qué significa incumplir la producción de leche? . Retrieved from http://www.tvcamaguey.co.cu/index.php?option=com_content&view=article&id=32373:i-que-significa-incumplir-la-produccion-de-leche&catid=68:Camag%C3%BCey&Itemid=86
70. Trejo Téllez, B. I. (2011). *Modelo de cadena de valor para el desarrollo rural: El caso del sector ovino en México y España*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. Retrieved from http://oa.upm.es/7074/1/BRENDA_INOSCENCIA_TREJO_TELLEZ.pdf
71. Trischler, W. E. (2000). *Mejora del valor añadido en los procesos*. Barcelona, España: GESTIÓN 2000.
72. Zafra, J. (2013). La cadena de valor de la leche líquida. Retrieved from http://www.mercasa.es/files/multimedios/1365369654_La_cadena_de_valor_de_la_leche_liquida_126_pag_005-013_zafra.pdf
73. Zaratiegui, J. R. (1999). La gestión por procesos: Su papel e importancia en la empresa. *Economía Industrial*, No.330.
74. Zúñiga, G. (2010). El desarrollo de cadenas de valor agroindustriales en Nicaragua, El Salvador y Costa Rica. El caso de la agroindustria láctea. Retrieved from <http://mba.americaeconomia.com/sites/mba.americaeconomia.com/files/cepal1.pdf>

Anexo 2. Escala de gravedad

Criterio	Clasificación
Irrazonable esperar que el fallo produjese un efecto perceptible en el rendimiento del producto o servicio. Probablemente, el cliente no podrá detectar el fallo.	1
Baja gravedad debido a la escasa importancia de las consecuencias del fallo, que causarían en el cliente un ligero descontento.	2 3
Moderada gravedad del fallo que causaría al cliente cierto descontento. Puede ocasionar retrabajos.	4 5 6
Alta clasificación de gravedad debido a la naturaleza del fallo que causa en el cliente un alto grado de insatisfacción sin llegar a incumplir la normativa sobre seguridad o quebrando de leyes. Requiere retrabajos mayores.	7 8
Muy alta clasificación de gravedad que origina total insatisfacción del cliente, o puede llegar a suponer un riesgo para la seguridad o	9 10

Anexo 3. Escala de ocurrencia

Criterio	Clasificación	Probabilidad
Remota probabilidad de ocurrencia. Sería irrazonable esperar que se produjera el fallo.	1	1/10.000
Baja probabilidad de ocurrencia. Ocasionalmente podría producirse un número relativo bajo de fallos.	2 3	1/5.000 1/2.000
Moderada probabilidad de ocurrencia. Asociado a situaciones similares que hayan tenido fallos esporádicos, pero no en grandes proporciones.	4 5 6	1/1.000 1/500 1/200
Alta probabilidad de ocurrencia. Los fallos se presentan con frecuencia.	7 8	1/100 1/50
Muy alta probabilidad de ocurrencia. Se producirá el fallo casi con total seguridad.	9 10	1/20 1/10

Anexo 4. Escala de detección

Criterio	Clasificación	Probabilidad
Remota probabilidad de que el defecto llegue al cliente. Casi completa fiabilidad de los controles.	1	1/10.000
Baja probabilidad de que el defecto llegue al cliente ya que, de producirse, sería detectado por los controles o en fases posteriores del proceso.	2 3	1/5.000 1/2.000
Moderada probabilidad de que el producto o servicio defectuoso llegue al cliente.	4 5 6	1/1.000 1/500 1/200
Alta probabilidad de que el producto o servicio defectuoso llegue al cliente debido a la baja fiabilidad de los controles existentes.	7 8	1/100 1/50
Muy alta probabilidad de que el producto o servicio defectuoso llegue al cliente. Este está latente y no se manifestaría en la fase de fabricación del producto.	9 10	1/20 1/10

Anexo 5. Listado de los expertos

No.	Expertos
1	Técnico Químico Ing. Pecuario. Especialista en tecnología de los alimentos.
2	Ingeniero Industrial. Director de Producción de la Empresa de Productos Lácteos "Río Zaza".
3	Especialista de Calidad del establecimiento Pasteurizadora.
4	Master en ciencias Ingeniero Químico. Especialista A en procesos tecnológicos para la industria.
5	Especialista Principal Calidad.
6	Especialista de Calidad del establecimiento Pasteurizadora.
7	Tecnólogo del establecimiento Pasteurizadora.
8	Jefe de Planta del establecimiento Pasteurizadora.
9	Jefe control de calidad del establecimiento Pasteurizadora.

Anexo 6. Selección de los expertos

Determinación del coeficiente de conocimiento K_{cj}

Tabla 3.1 Autoevaluación de los expertos para el cálculo de K_{cj}

Expertos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1							X			
2									X	
3						X				
4								X		
5							X			
6									X	
7								X		
8									X	
9							X			

Tabla 3.2 Valor K_{cj} para los expertos potenciales

Expertos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K _{cj}	0.7	0.9	0.6	0.8	0.7	0.9	0.8	0.9	0.7

Determinación del coeficiente de argumentación K_a

Tabla 3.3 Autoevaluación de los expertos para el cálculo de K_a

Fuentes de argumentación	Alto	Medio	Bajo
Análisis teóricos realizados por usted	0.3	0.2	0.1
Su experiencia obtenida	0.5	0.4	0.2
Trabajos de autores nacionales	0.05	0.05	0.05
Trabajos de autores extranjeros	0.05	0.05	0.05
Su conocimiento del estado del problema en el extranjero	0.05	0.05	0.05

Su intuición |0.05|0.05|0.05|

Tabla 3.4 Resultados del cálculo de Ka.

No.	I1	I2	I3	I4	I5	I6	Ka
1	0.3	0.4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.9
2	0.3	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	1
3	0.1	0.2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.5
4	0.3	0.4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.9
5	0.2	0.4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.8
6	0.2	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.9
7	0.3	0.4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.9
8	0.2	0.4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.8
9	0.3	0.4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.9

Determinación del coeficiente de competencia K

Tabla 3.5 Valor K para los expertos potenciales

No.	Kc	Ka	K	Valoración de K
1	0.7	0.9	0.8	Alto
2	0.9	1	0.95	Alto
3	0.6	0.5	0.55	Medio
4	0.8	0.9	0.85	Alto
5	0.7	0.8	0.75	Medio
6	0.9	0.9	0.9	Alto
7	0.8	0.9	0.85	Alto
8	0.9	0.8	0.85	Alto
9	0.7	0.9	0.75	Medio

Selección de expertos

$$n = \frac{p * (1 - p) * k}{i^2}$$

$$p = 0.02$$

$$\alpha = 0.05$$

$$K = 3.8416$$

$$i = 0.1$$

$$n = \frac{p * (1 - p) * k}{i^2} = \frac{0.02 * 0.98 * 3.8416}{0.01} = 7.5 \approx 8$$

Anexo 7. Cálculo de la función de pérdida de Taguchi

DÍAS	M1	M2	M3	M4	M5	(y1-m) ²	K(Y1-M) ²	(y2-m) ²	K(Y2-M) ²	(y3-m) ²	K(Y3-M) ²	(y4-m) ²	K(Y4-M) ²	(y5-m) ²	K(Y5-M) ²
1	16	16	17	17	18	1.00	0.15	1.00	0.15	4.00	0.6	4.00	0.6	9.00	1.35
2	15	16	16	16	17	0.00	0	1.18	0.1777	1.96	0.2937	1.62	0.243	2.62	0.39
3	16	16	16	16	17	1.00	0.15	1.00	0.15	1.00	0.15	1.00	0.15	4.00	0
4	17	17	18	19	19	4.00	0.6	4.00	0.6	9.00	1.35	19.39	2.908	19.17	2.87
5	16	17	17	18	18	1.00	0.15	5.47	0.82055	6.05	0.9073	7.50	1.126	8.43	1.26
6	15	17	17	17	18	0.00	0	5.09	0.76376	4.81	0.7213	5.32	0.797	8.44	1.26
7	17	18	18	18	18	4.00	0.6	9.00	1.35	9.00	1.35	11.99	1.799	11.31	1.69
8	17	17	18	18	18	4.37	0.655232	5.61	0.8422	7.09	1.0642	7.16	1.074	9.00	1.35
9	15	18	18	18	19	0.00	0	7.15	1.07208	8.46	1.2688	8.46	1.269	16.00	2
10	15	15	15	15	16	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	1.00	0.15
11	16	16	17	17	17	1.34	0.200958	1.28	0.19222	2.50	0.3752	3.82	0.572	2.43	0.36
12	16	16	17	17	17	1.38	0.207306	1.68	0.25133	2.47	0.3709	3.72	0.558	3.14	0.47
13	17	16	17	16	17	3.48	0.522245	2.14	0.32026	2.37	0.355	1.29	0.194	2.72	0.40
14	16	16	17	17	16	1.04	0.155756	1.10	0.1646	2.92	0.4374	2.85	0.428	1.40	0.21
15	16	16	16	16	17	1.24	0.186611	1.74	0.26085	2.01	0.3014	1.55	0.232	2.27	0.34
16	17	17	17	17	16	3.32	0.497918	2.58	0.38635	2.99	0.4491	3.80	0.57	1.53	0.22
17	16	16	17	16	16	2.05	0.307152	1.23	0.18507	2.28	0.3422	1.64	0.246	1.87	0.28
18	16	17	17	18	19	1.80	0.270451	2.95	0.44188	2.85	0.4273	9.00	1.35	16.00	2
19	16	17	18	18	18	2.07	0.311047	2.68	0.40125	9.00	1.35	9.00	1.35	9.00	1.35
20	17	19	19	19	19	4.00	0.6	15.84	2.37638	16.00	2.4	14.48	2.172	16.00	2
21	17	19	19	19	20	4.00	0.6	16.99	2.54917	17.69	2.6528	17.65	2.648	24.29	3.64
22	17	19	19	19	20	4.00	0.6	18.54	2.78159	17.79	2.6692	19.65	2.948	20.45	3.06
23	17	17	17	18	18	4.60	0.689572	5.76	0.86388	5.84	0.8756	8.78	1.317	8.95	1.34
24	18	19	19	20	20	9.00	1.35	14.12	2.11858	16.00	2.4	25.00	3.75	25.00	3.75
25	17	17	18	18	17	4.57	0.6851	4.62	0.69265	6.27	0.9405	7.33	1.1	6.03	0.90
26	18	17	18	18	18	6.85	1.027146	6.13	0.91927	8.11	1.2169	8.00	1.201	8.76	1.31
27	15	16	17	18	18	0.00	0.00044	1.00	0.15	4.00	0.6	9.00	1.35	9.00	1.35
28	16	19	19	20	20	1.00	0.15	17.07	2.56054	18.42	2.7624	24.23	3.635	23.90	3.58
29	16	18	19	20	20	1.00	0.15	7.47	1.12111	16.00	2.4	25.00	3.75	25.00	3.75

30	16	18	19	19	20	1.00	0.15	6.52	0.97824	16.00	2.4	16.00	2.4	25.00	3.7
						73.11	10.97	170.94	25.64	222.9	33.43	278.3	41.74	321.7	48.2

Razón
 de la
 mejora
 32.0073
 Ahorro 22.4323 3.34245

	LE Acidez	RT=LSE- LIE	RT2=Δ2	M
LES=17	LEI=13	4	16	15
Horario	9- 10- 1- 5- 11			
Precio de compra= A=2.4				
	k=A/Δ2			
k=0,15	0.15			

Anexo 8. Evaluación de la concordancia entre expertos

Expertos	Almacenamiento	Pasteurización	Clarificación	Homogenización
E1	0,2	0,5	0,2	0,1
E2	0,4	0,4	0,4	0,4
E3	0,5	0,5	0,5	0,2
E4	0,5	0,5	0,5	0,2
E5	0,3	0,3	0,3	0,3
E6	0,2	0,4	0,2	0,2
E7	0,3	0,4	0,3	0,3
E8	0,4	0,4	0,4	0,2

Para ello se asumió un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ y se aplicó un *test* de Kendall.

Donde:

H1: El juicio es consistente

H0: El juicio no es consistente

RC: Si Sig. asintót $< \alpha$ se rechaza la hipótesis nula

Los resultados a partir de la aplicación informática SPSS 15.0 se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.8. Estadísticos de contraste. Salida del SPSS 15.0

N	8
W de Kendall(a)	,599
Chi-cuadrado	9,579
gl	2
Sig. asintót.	,008

a Coeficiente de concordancia de Kendall

Como $0.008 < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula. No existen evidencias estadísticas suficientes que indiquen falta de concordancia en el juicio de los expertos.

Anexo 9. Cálculo de la función de pérdida de Taguchi posterior al desarrollo del VMEA

DÍA						(y1- m)2	K(Y1-M)2	(y2- m)2	K(Y2- M)2	(y3- m)2	K(Y3- M)2	(y4- m)2	K(Y4- M)2	(y4- m)2	K(Y4- M)2
S	M1	M2	M3	M4	M5										
1	16	16	16	16	17	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28	4.00	1.12
2	15	14	15	14	14	0.00	0	1.00	0.28	0.00	0	1.00	0.28	1.00	0.28
3	16	17	17	17	17	1.00	0.28	4.00	1.12	4.00	1.12	4.00	1.12	4.00	1.12
4	16	16	15	15	16	1.00	0.28	1.00	0.28	0.00	0	0.00	0	1.00	0.28
5	16	15	15	16	15	1.00	0.28	0.00	0	0.00	0	1.00	0.28	0.00	0
6	15	16	15	15	16	0.00	0	1.00	0.28	0.00	0	0.00	0	1.00	0.28
7	15	16	16	15	16	0.00	0	1.00	0.28	1.00	0.28	0.00	0	1.00	0.28
8	15	16	16	16	15	0.00	0	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28	0.00	0
9	16	16	16	16	16	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28
10	16	15	16	16	15	1.00	0.28	0.00	0	1.00	0.28	1.00	0.28	0.00	0
11	16	16	16	16	15	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28	0.00	0
12	16	16	17	17	16	1.00	0.28	1.00	0.28	4.00	1.12	4.00	1.12	1.00	0.28
13	16	16	17	17	16	1.00	0.28	1.00	0.28	4.00	1.12	4.00	1.12	1.00	0.28
14	16	17	16	16	17	1.00	0.28	4.00	1.12	1.00	0.28	1.00	0.28	4.00	1.12
15	15	14	14	15	14	0.00	0	1.00	0.28	1.00	0.28	0.00	0	1.00	0.28
16	14	14	14	14	14	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28
17	17	17	16	16	16	4.00	1.12	4.00	1.12	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28
18	16	17	16	17	16	1.00	0.28	4.00	1.12	1.00	0.28	4.00	1.12	1.00	0.28
19	16	17	16	17	16	1.00	0.28	4.00	1.12	1.00	0.28	4.00	1.12	1.00	0.28
20	16	16	16	16	16	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28
21	15	15	15	15	15	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
22	15	15	15	16	16	0.00	0	0.00	0	0.00	0	1.00	0.28	1.00	0.28
23	15	15	15	15	16	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
24	15	15	16	15	15	0.00	0	0.00	0	1.00	0.28	0.00	0	0.00	0
25	15	16	15	16	15	0.00	0	1.00	0.28	0.00	0	1.00	0.28	0.00	0
26	16	17	16	17	16	1.00	0.28	4.00	1.12	1.00	0.28	4.00	1.12	1.00	0.28
27	16	16	17	17	17	1.00	0.28	1.00	0.28	4.00	1.12	4.00	1.12	4.00	1.12

28	14	14	14	15	15	1.00	0.28	1.00	0.28	1.00	0.28	0.00	0	0.00	0
29	14	15	15	14	14	1.00	0.28	0.00	0	0.00	0	1.00	0.28	1.00	0.28
30	16	15	15	16	16	1.00	0.28	0.00	0	0.00	0	1.00	0.28	1.00	0.28
						23.0		40.0		32.0		43.0		33.0	
						0	6.44	0	11.20	0	8.96	0	12.04	0	9.24
							9.576								