

RIESGO OPERATIVO

PROYECTO DE GRADO II

**GINA MARCELA AGUIRRE ANGULO
TATIANA CÁRDENAS CÓRDOBA**

**Asesor de Investigación
GUILLERMO BUENAVENTURA VERA**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y ECONÓMICAS
ECONOMÍA Y NEGOCIOS INTERNACIONALES
SANTIAGO DE CALI
2012**

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	6
1. OBJETIVOS	8
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
2. METODOLOGÍA.....	9
3. ANTECEDENTES	10
3.1. REVISIÓN LITERARIA DE ARTÍCULOS.....	10
3.1.1. SYSTEMIC RISK ASSESSMENT: A CASE STUDY.....	10
3.1.2. ASSESSING PROJECT IMPLEMENTATION RISK: A METHODOLOGICAL APPROACH.....	12
3.1.3. SUPPLY RISK MANAGEMENT: OUTLINING AN AGENDA FOR FUTURE RESEARCH.....	14
3.1.4. MITIGATING SUPPLY CHAIN VULNERABILITY	16
3.1.5. AN EMERGENT FRAMEWORK FOR SUPPLY CHAIN MANAGEMENT AND PERFORMANCE MEASUREMENT.....	18
3.1.6. QUATIFYING THE BULLWHIP EFFECT IN A SIMPLE SUPPLY CHAIN: THE IMPACT OF FORECASTING, LEAD TIMES, AND INFORMATION.....	20
3.2. CONSOLIDACIÓN DEL PENSAMIENTO	27
4. PRESENTACIÓN DEL MODELO	3
4.1 MODELO GENERAL	3
4.2. EJEMPLIFICACIÓN DE LOS MODELOS	40
5. APLICACIÓN DEL MODELO	42
5.2. ESTRUCTURA OPERATIVA - FANALCA S.A. DIVISIÓN DE TUBERÍAS.....	42
5.2.1. Proceso productivo.....	42
5.3. ESQUEMA DE PRODUCCIÓN- CADENA DE SUMINISTRO DE LA PRODUCCIÓN DE TUBERÍAS.....	43
5.4. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y DATOS RELEVANTES.....	44
5.5. APLICACIÓN DEL MODELO: Caso de estudio	44
6. RESULTADOS.....	51

7. CONCLUSIONES.....	54
8. BIBLIOGRAFÍA.....	56
8.1. Citas de autores relevantes del estudio	56
8.2. Revistas	56
9. ANEXOS.....	59

Tabla de Ilustraciones

	Pág.
Ilustración 1 Supply Chain Risk Management Framework,	19
Ilustración 2 Flujo de la Administración del Riesgo en la Cadena de Suministro ..	28
Ilustración 3: Modelo en series.....	37
Ilustración 4: Modelo en Paralelo	38
Ilustración 5: Modelo Mixto.....	39

Listado de Gráficos

	Pág.
Gráfico 1: Diagrama de Pareto Centro de Trabajo 1 Año 2009.....	49
Gráfico 2: Diagrama de Pareto Centro de Trabajo 2 Año 2009.....	49
Gráfico 3: Diagrama de Pareto Centro de Trabajo 3 Año 2009.....	50

Listado de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Nivel de Confianza en la producción para el año 2008	46
Tabla 2: Nivel de Confianza en la producción para el año 2009	46
Tabla 3: Nivel de Confianza en la producción para el año 2010	46
Tabla 4: Nivel de Confianza en la producción para el año 2011	47
Tabla 5: Costo económico asociado a paros en los centros de trabajo.	48

Listado de Anexos

	Pág.
Anexo 1: Tablas de Motivos de Paro por Centros de Trabajo.....	59
Anexo 2: Costos asociados a los centros de trabajo 1, 2 y 3.	61
Anexo 3: Datos para gráficos Pareto Año 2009	62

RESUMEN

El desarrollo de la siguiente investigación tiene tres fases de desarrollo, la primera es la teorización, basada en la revisión literaria acerca de la administración del riesgo en la cadena de suministro, la segunda fase es la de instrumentalización y diseño de un modelo dinámico aplicado a una empresa real, y la tercera fase culmina con el análisis de resultados y evaluación de los hallazgos obtenidos tras la aplicación del modelo.

Palabras Claves: *Simulación, cadena de suministro, multi-áreas, riesgo en la cadena de suministro, distorsión, modelo.*

INTRODUCCIÓN

Las dificultades generadas por la distorsión en las diferentes etapas de la cadena de suministro generan riesgos en la continuidad, sostenibilidad y funcionamiento de la misma, en especial, el riesgo operativo dentro de la cadena de suministro puede ser visto como una red que interrelaciona las posibilidades de ocurrencia de diversos eventos en cada una de las fases del proceso, que impactan de manera negativa el procedimiento en su conjunto y por ende el rendimiento financiero de las empresas.

Así, muchas empresas han adoptado modelos dinámicos de planeación de requerimientos de producción para optimizar los procesos intrínsecos de la cadena de suministro, basados en pronósticos que son revisados periódicamente, a fin de atender a los cambios e incertidumbre que surgen en el mercado y pueden desviar el sistema de planeación. De esta manera, lo que se pretende es mitigar riesgos y evitar caer en sobrecostos durante y después del proceso operativo.

En este sentido, el concepto de riesgo y su efecto dentro de la cadena de suministro debe analizarse bajo dos esquemas, el *operacional* y el de *incertidumbre*. El primero se explica como el efecto causado por la actuación conjunta de proveedores, proceso productivo, centros de distribución y consumidor final, los cuales intervienen de diferentes maneras y amplían la brecha entre la fabricación del producto, satisfacción del cliente y maximización de beneficios de la empresa. Este concepto se realiza con base en la recopilación de los aportes de los autores Zsidis y Blume (2004). Finalmente, el segundo concepto, se analiza como el efecto generado por la posibilidad de que un evento inesperado ocurra y afecte el funcionamiento de la cadena de suministro. Apoyando este concepto Andrews y Moss (1993) definen el riesgo como el producto de un incidente específico y la probabilidad de ocurrencia del mismo, haciendo uso de un modelo de riesgo llamado Índice de Riesgo mediante el cual se calcula la vulnerabilidad en las diferentes etapas de la cadena de suministro. Los resultados

finally determine if there is significance in the interchange between the number of suppliers in a simple chain, the diversification of the product, the coordination of the chain and the efficiency of the chain in its processes.

This work presents a methodology through which the different risk profiles in the Supply Chain, based on the evaluation of risk and its effects in the areas and operations of the entire organization. This work is divided into four parts: The first part consists of investigations made about the concept and recognition of operational risks that can occur within the supply chain. The second part presents the methodological approach implemented and the presentation of a risk evaluation model through probabilistic methods, such as the Risk Index. The third part shows the applicability of this model to companies belonging to the manufacturing sector and the case of the production plant of the industrial pipe division for use by FANALCA S.A, a company manufacturer of auto parts in the city of Cali. Finally, the results obtained from the qualitative and quantitative point of view, with their respective conclusions.

The results can be a useful tool at the time of making the company's operational forecasts, avoiding the interruptions that generate risks and that affect negatively the production operations, sales, performance and efficiency of the company. This investigation then, is focused on the study of the probabilistic evaluation of risk and its effect on the management of the supply chain in manufacturing companies, primarily in the production plant.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el riesgo operativo que hay en la planta de producción de empresas del sector manufacturero.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los factores de riesgo específicos y puntos sensibles o cuellos de botella en las áreas de la cadena de suministro de empresas manufactureras, que dificultan el proceso operativo.
- Analizar la interrelación de diferentes riesgos y su efecto sistémico sobre las etapas de la cadena de suministro.
- Identificar riesgos inherentes a los procesos operativos y riesgos asociados a la toma de decisiones de directivos de una empresa.
- Estimar el riesgo a través de un modelo estadístico y analítico que indique la probabilidad de ocurrencia de eventos que generan distorsiones en los diferentes centros de producción y afectan la producción.
- Desarrollar un modelo de aplicación para estimar la probabilidad de riesgo dada las posibles fallas o eventos que pueden ocurrir en el proceso de producción de dentro de una empresa manufacturera.

2. METODOLOGÍA

La metodología implementada para esta investigación se basó en la búsqueda de información en *papers* referente al concepto y métodos de evaluación de riesgos operativos, bajo un enfoque cualitativo y cuantitativo, analizando sus ventajas, desventajas y su aplicabilidad en los riesgos asociados a la cadena de suministros de empresas manufactureras. Para esto se tomaron papers de distintos autores y se hicieron resúmenes, tomando los aportes más relevantes que permitieran consolidar y fundamentar el pensamiento y poder llevar a cabo la investigación desde una perspectiva teórica y práctica desarrollando un modelo que evalúe el riesgo operativo en la planta de producción de una empresa y su impacto en la cadena de suministro en general. Por último, se analizaron datos de operaciones históricas en la planta de producción por un periodo de 4 años de la división de tuberías de FANALCA S.A, se entregó los resultados del estudio y las conclusiones de la investigación.

3. ANTECEDENTES

3.1. REVISIÓN LITERARIA DE ARTÍCULOS

Para el presente trabajo se ha revisado la literatura sobre la Administración de Cadenas de Suministro y la incidencia del riesgo en el desarrollo de la operación, desde su inicio en la línea de proveedores hasta que es el producto final es entregado al último agente de la cadena: el consumidor final. El fin de la revisión literaria es presentar una visión teórica, de instrumentación y de análisis de los modelos de administración del riesgo, a través de un Estado del Arte de las aportaciones más recientes sobre tema.

3.1.1. SYSTEMIC RISK ASSESSMENT: A CASE STUDY.

Autor (es): F. Ackermann, C. Eden, T. Williams, S. Howick

Revista: The Journal of the Operation Research Society (2007)

Este *paper* describe un enfoque cualitativo de evaluación y manejo del riesgo de proyectos dentro de una organización, identificando que el riesgo de un proyecto está relacionado con el de otros proyectos, y que requieren de un estudio más a fondo, lo cual era ignorado en los registros tradicionales de riesgo. Así, el riesgo puede ser visto como una red que interrelaciona probabilidades de ocurrencia de eventos que impactan diversos proyectos.

Para ello, se desarrolló un filtro de riesgo que reflejara la sistematicidad del riesgo en un conjunto de proyectos y así poder identificar y mitigar la estructura de riesgos que pueden causar los sobrecostos de un proyecto. Este consistía entonces en un “proyecto filtro” que fuera capaz de desarrollar un portafolio de acción, que incluyera riesgos claves que han sido identificados como sistemáticamente impactantes en el éxito de un proyecto; un análisis sistémico que identifique acciones potentes que reduzcan un gran número de riesgos y

distinga entre riesgos aleatorios y epistémicos, que requieren diferentes cursos de acción.

La metodología consistía por un lado, en desarrollar talleres cuyos participantes tuvieran experiencia en proyectos considerables e identificar las distintas áreas (que no estuvieran relacionadas) en las que se podía presentar riesgos. Los otros riesgos que pudieran aparecer, serían considerados para saber si existe la posibilidad de que ocurran en otros proyectos. Esto dará una base sobre la cual trabajar.

Esto implicaba crear distintos escenarios (futuros), a fin de descubrir un portafolio de riesgos y sus consecuencias. Una vez se tenía el conjunto de eventos de riesgos, se elaboraría un cuestionario el cual contenía diferentes categorías y subcategorías que representarían el top de una jerarquía de eventos que serían usadas para desarrollar el filtro. Así, una respuesta a una pregunta podría influenciar en el impacto de la respuesta a otra pregunta, pudiéndose identificar un área potencial que representara alto riesgo. Esto a su vez, permitiría calcular un índice de exposición al riesgo en general y para cada categoría.

El cuestionario contenía preguntas cuyas respuestas empleaban la escala de Likert, respuestas como Si/No, no se tiene conocimiento, opción múltiple, y a cada una de ellas le correspondía un porcentaje o peso, el cual al final determinaba la puntuación del riesgo para cada categoría, subcategorías y la total. Además se utilizó la simulación de Monte Carlo para crear tres rangos: máximo riesgo, riesgo esperado y mínimo riesgo para determinar el nivel de exposición al riesgo.

El “Filtro del Riesgo” ha sido usado por la organización como una parte integral del proceso de evaluación del riesgo y ha sido clave en la etapa de planeación de estrategias y como guía en el manejo de un proyecto y en de riesgos.

3.1.2. ASSESSING PROJECT IMPLEMENTATION RISK: A METHODOLOGICAL APPROACH.

Autor (es): ANDERSON, J Y NARASIMHAN, R.

Revista: Management Science (1979)

Los autores plantean el concepto de evaluación del riesgo como un camino para identificar el cambio de éxito o fracaso de un proyecto y poder determinar estrategias viables que atiendan las necesidades que surgen en situaciones específicas y poder reducir la influencia de factores de riesgos e incrementar la probabilidad de éxito en la implementación de un proyecto. Además, sugieren el uso de un enfoque metodológico para la identificación de factores de riesgo y la evolución de las estrategias implementadas y ver si el riesgo de fracaso es sustantivo, que aspectos de una situación particular pueden ser cambiados para aumentar la probabilidad de éxito.

La propuesta metodológica provee un enfoque sistemático de la evaluación de proyectos así como del nivel de riesgo, evaluando áreas que requieren el desarrollo e implementación de una estrategia a través de un proceso de retroalimentación. Este enfoque es formalizado mediante una función discriminante.

La forma de la función lineal discriminante empleada es:

$$Y_j = \alpha_0 + \alpha_1 X_{1j} + \alpha_2 X_{2j} + \dots + \alpha_n X_{nj}$$

La variable dependiente engloba el efecto de todos los factores de riesgo (medido como puntuación), representa los coeficientes de los factores de riesgo, que muestran la variación de la variable dependiente ante cambios en las variables explicativas y las X 's son un grupo de variables que representan los factores de riesgo, que pueden ser identificadas a través de teorías existentes y modelos de implementación en la literatura, además de las experiencias pasadas.

El puntaje obtenido da la base para clasificar una implementación en una situación como potencialmente exitosa o en su defecto de fracaso.

El computo de puntaje discriminatorio es comparado con D^* , para comparar el proyecto entre éxito/fracaso potencial o éxito/fracaso marginal. Si el proyecto está determinado para ser potencialmente exitoso, el proyecto puede ser aceptado inicialmente con una pequeña o no implementación de una estrategia.

3.1.3. SUPPLY RISK MANAGEMENT: OUTLINING AN AGENDA FOR FUTURE RESEARCH

Autor (es): Christopher, M; Jüttner, U y Peck, H.

Revista: International Journal of Logistics (2003)

El propósito del texto es analizar la definición de riesgo sistemático y estructural en la cadena de suministro y sus implicaciones en la generación de valor dentro de la organización.

La definición de riesgo que trabaja el texto se conceptualiza de la siguiente manera “es la incertidumbre en las variables que afectan los flujos de información, conocimiento, tecnología, materiales, producto final, procesos terminales que afectan con al desarrollo operativo y económico de la empresa” (LaLonde, 1997). Bajo este esquema, el texto propone cuatro constructos básicos de análisis en la cadena de suministro:

1. Fuentes del riesgo.
2. Consecuencias del riesgo.
3. Agentes de riesgo.
4. Estrategias de Mitigación del riesgo: Teniendo en cuenta variables de control, cooperación y la flexibilidad.

Comparando los constructos anteriores con el modelo de cadena de suministro de la organización se puede definir así:

1. Evaluar las fuentes de riesgo: Identificar el riesgo de la cadena definiendo las más relevantes consecuencias logrando hallar una solución a través de un modelo y finalmente encontrar estrategias para solventar el riesgo actual y futuro.

2. Definir el concepto de riesgo en la cadena de suministro y las consecuencias adversas al riesgo: Las consecuencias están basadas en ciertos contextos interno o externos que debe definir a través de una clasificación de riesgo: sistemático o estructural.
3. Identificar la estrategia de los Drivers o Agentes de Riesgo: Enfocar la eficiencia frente a la efectividad, factores globales que afectan la cadena de suministro, centros de distribución, tendencias de outsourcing y la reducción del proveedor, es decir, hacer las veces de fabricante.
4. Mitigar el riesgo en la cadena: A través de cuatro estrategias de diversificación de mercados, productos, proveedores, consumidores; estrategias de control de inventarios, capacidad de producción y estrategia de cooperación como red integrada de la cadena y la estrategia de flexibilidad como múltiple outsourcing.

Basados en los conceptos anteriores, la conceptualización de analizar el riesgo en la cadena de suministros y su efecto en la operación debe estudiarse desde esta óptica ya que generará resultados vistos de adentro hacia afuera, es decir, causa efecto interno como externo.

3.1.4. MITIGATING SUPPLY CHAIN VULNERABILITY

Autor (es): Neureuther, B y Kenyon, G.

Revista: Journal of Marketing Channels (2009)

Las empresas competitivas deben adoptar estructuras de cadena de suministro que produzcan altos estándares de calidad, confiabilidad y razonabilidad en precios, evitando reducir los lead times.

El estudio del modelo de riesgo se basa en la búsqueda de la llamada Valoración del Índice de Riesgo, mediante la cual se calcula la vulnerabilidad en las diferentes etapas de la cadena de suministro. Los resultados finales determinarán si existe significancia en el intercambio entre el número de proveedores en una cadena simple, la diversificación del producto, la coordinación de la cadena y la eficiencia de la cadena en sus procesos.

El parámetro de confiabilidad según Andrews y Moss (1993) es definido como la probabilidad de que un componente de un sistema pueda operar sin fallas por un periodo de tiempo sobre condiciones específicas; visto desde el punto de vista de la cadena, puede analizarse como la probabilidad de que las acciones que realiza el proveedor hacia el distribuidor afectan el desarrollo de la calidad del desempeño total de la cadena. Por lo tanto, el fallo en la cadena de suministro es definido como la incapacidad de entregar el producto o servicio proveniente de la cadena al consumidor.

Es necesario identificar las áreas críticas y las incertidumbres asociadas a las operaciones que se realizan en toda la cadena, de manera bidireccional.

Asumiendo que los componentes están en un sistema independiente, existen dos tipos: idénticos y no idénticos. Kolarik (1995) sugiere que la probabilidad del modelo por series, paralelos y configuración mixta es el siguiente:

Configuración de Series: $R_{sys} = \prod_{v=1}^z P(x_v)$ (1)

Configuración Paralelo: $R_{sys} = 1 - \prod_{v=1}^z P(\tilde{x}_v)$ (2)

Configuración Mixta: $R_{sys} = P(B_1 \cup B_2 \cup B_3 \dots \cup B_{C_r^n})$ (3)

Donde,

$P(x_v)$ = Probabilidad de suceso del componente

$P(\tilde{x}_v)$ = Probabilidad de que falle el componente $1 - P(x_v)$

B_j = Configuración de jth del subproblema

Definición del riesgo

El concepto de riesgo alude al hecho de aquella falla en la promesa de entrega del producto o servicio proveniente de la cadena, se denota bajo la variable (α) se calcula de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{\delta_{replace}}{\delta_{collapse}} \quad (4)$$

Donde,

$\delta_{replace}$ = El tiempo que toma la cadena en resolver la falta de subproducto o subservicio en proceso para lograr el producto final y sea entregado en el tiempo acordado.

$\delta_{collapse}$ = Es el tiempo que tarda en recuperarse al no entregar del subproducto o subservicio a tiempo.

El rango del riesgo está entre 0 y 1, donde 1 implica el colapso de la cadena de suministro una vez ocurra la falla y 0 implica que no hay efecto o consecuencia de riesgo. La consecuencia del riesgo puede clasificarse como vitales, necesarias o deseado. La primera ocurre cuando el subproducto o subservicio no tiene sustitutos o no están presentes para que sean entregados, y la segunda alude a que habiendo sustitutos y que se pueden usar, afectan significativamente la calidad de subproducto o subservicio.

3.1.5. AN EMERGENT FRAMEWORK FOR SUPPLY CHAIN MANAGEMENT AND PERFORMANCE MEASUREMENT

Autor (es): B, Ritchie; C, Brindley

Revista: The Journal of the Operational Research Society (2007)

La administración del riesgo en una organización y su influencia en la cadena de suministro, se ha convertido en un factor determinante para examinar el desarrollo de los procesos internos y medir la rentabilidad de la organización.

El concepto de riesgo que definen los autores se basa en la recopilación de los aportes de Zsidis y Blume (2004) bajo el concepto de *riesgo operacional* como el efecto causado por la actuación de proveedores, proceso productivo e inventarios, distribuidores o agentes y consumidor final, generando incertidumbre de sus acciones y el no control del ambiente externo. Los actores que intervienen a lo largo de la cadena de suministro son: agentes de riesgo, la toma de decisiones y los resultados finales.

A esto, se le suma la propuesta de Rowe (2006) de que el riesgo se presenta en las organizaciones a la ausencia de información que fluye a cada uno de los agentes involucrados en ella.

Existen dos clasificaciones de riesgo: endógeno y exógeno. El primero es el riesgo implícito dentro de la organización y el segundo mientras que el segundo son las externalidades que la cadena no puede controlar y que tarde en reaccionar ante el efecto. (p.e. World politics).

El efecto de Riesgo en la Cadena de Suministro

La interconectividad es la fuente de relación entre la cadena y el riesgo operacional, el cual está asociado de manera independiente de la situación ya que es endógeno a esto. El impacto de la decisión tiene repercusiones en los altos y

bajos de la cadena ya que una decisión inicial de un nodo puede afectar a los otros (Efecto látigo o bullwhip)

Gráficamente se puede analizar los diferentes actores involucrados en la generación de valor en la cadena, pero también en la creación de riesgo.

Supply Chain Risk Management Framework

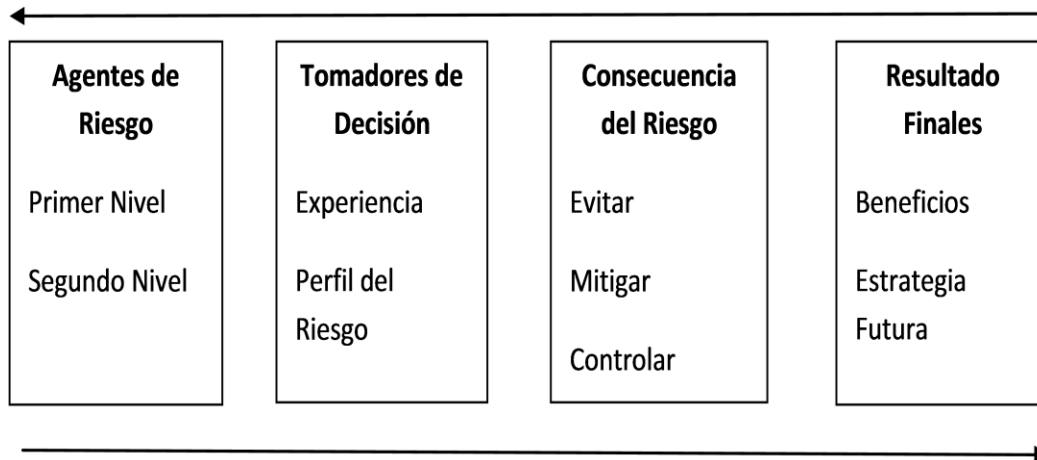


Ilustración 1 Supply Chain Risk Management Framework, modificado para mayor comprensión y adhesión de la temática del estudio.

En la ilustración 1 se pueden identificar los cuatro componentes del marco de generación del riesgo interno, que debido a su interconectividad de sus actividades en doble vía, el nivel de dependencia aumenta, lo que causa que la generación de cambios entre estos componentes, para lograr un nivel de desarrollo deseado para la organización, puede generar una consecuencia de aumentar el riesgo, pero en su manera externa.

3.1.6, QUANTIFYING THE BULLWHIP EFFECT IN A SIMPLE SUPPLY CHAIN: THE IMPACT OF FORECASTING, LEAD TIMES, AND INFORMATION

Autor (es): Chen, F; Drezner, Z; Ryan, J and Simchi-Levi, D.

Revista: Decision Sciences, National University of Singapore. (2000)

Nuestro modelo incluye dos factores comunes causantes del efecto látigo en la cadena de suministro: los pronósticos de la demanda y las órdenes de entrega. Este análisis es tanto para modelos de cadena simple como modelos de cadena múltiples. El efecto látigo en la cadena de suministro sugiere aumentos en variabilidad de la demanda.

Lee et al. (1997-a, b) identifica 5 causas del efecto látigo: El uso pronósticos de demanda, la escasez de suministro, las demoras en tiempo de entrega (lead times), lote de pedidos y la variación de precios.

Objetivos del Modelo

1. Determinar el impacto de pronóstico de la demanda en el efecto látigo, suponiendo que el detallista no conoce la demanda real del consumidor, la estima a través de parámetros del proceso de demanda.
2. Cuantificar el efecto, por ejemplo que pasa si aumenta la variabilidad como es la reacción de cada área de la cadena (1. Fabricante, 2. Detallista 3. Consumidor Final).

MODELO CADENA DE SUMINISTRO SIMPLE

Considerando una cadena simple las variables representan la relación detallista consumidor

T: Período

q_t : Nivel de inventario

D_t : Demanda del consumidor (Estimada)

$t + L$: Corrección del lead time, $L=1$

La demanda del consumidor vista desde el punto de vista del detallista es:

$$D_t: \mu + \rho D_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

Donde

$$\mu > 0$$

$|\rho| < 0$ Parámetro de correlación

ε_t Error es independiente e idénticamente distribuido, es decir, una distribución simétrica con media = 0 y varianza igual a σ^2

SUPUESTOS:

- Cualquier demanda no cubierta es de reserva o para el siguiente periodo.
- Se corrigen los lead times entre el tiempo de que el fabricante recibe la orden del detallista y el tiempo que toma el pedido en llegar al detallista.
 $L=1$.

Las Políticas de Inventario y Técnicas de Pronóstico

SUPUESTOS

1. Políticas de inventario bajo el simple order up to level (inventario de seguridad)
2. Tiene una distribución normal
3. Nivel order up al nivel óptimo

$$y_t: \hat{D}_t^L + z\hat{\sigma}_{et}^L \quad (2)$$

Donde,

\hat{D}_t^L : Estimador de los lead times de la demanda

$\hat{\sigma}_{et}^L$: Estimador de la desviación estándar de L pronóstico del error.

Z: Constante elegida para cuantificar el nivel de servicio.

Asumiendo que el detallista usa un promedio simple para estimar \hat{D}_t^L y $\hat{\sigma}_{et}^L$ basado en la observación de la demanda de un período previo, se tiene que:

$$\hat{D}_t^L = L \left(\frac{\sum_{i=1}^p D_{t-i}}{p} \right) \quad \text{Y} \quad \hat{\sigma}_{et}^L = c_{L,\rho} \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^p (e_{t-i})^2}{p} \right)} \quad (3)$$

Donde,

e_t : Período de pronóstico del error

C: Constante en función de L, ρ y p. Ryan (1997).

Cuantificación del Efecto Látigo

Se determina la varianza de q_t relativo a la varianza de D_t , es decir, la varianza de la ordenes de pedido del detallista al fabricante debe ser igual a la demanda percibida del detallista por parte del consumidor. Sabiendo esto se tiene que:

$$q_t = y_t + y_{t-1} + D_{t-1}$$

Notas

q_t Puede ser negativo, por lo que se asume que hay un exceso de inventario que es regresado sin ningún costo. Kahn (1987) and Lee et al (1997).

Reescribiendo q_t sabiendo los estimadores del lead times y los pronósticos del error:

$$q_t = \hat{D}_t^L - \hat{D}_{t-1}^L + z(\hat{\sigma}_{et}^L - \hat{\sigma}_{e,t-1}^L) + D_{t-1}$$

$$q_t = L \left(\frac{D_{t-1} - D_{t-p-1}}{p} \right) + D_{t-1} + z(\hat{\sigma}_{et}^L - \hat{\sigma}_{e,t-1}^L)$$

$$q_t = \left(\frac{1+L}{p}\right) D_{t-1} - \left(\frac{L}{p}\right) D_{t-p-1} + z(\hat{\sigma}_{et}^L - \hat{\sigma}_{e,t-1}^L) \quad (4)$$

Teniendo q_t $\text{Var}(q_t)$

$$\begin{aligned} \text{Var}(q_t) = & \left(\frac{1+L}{p}\right)^2 (D_{t-1})^2 - 2\left(\frac{1+L}{p}\right)\left(\frac{L}{p}\right) * \text{Cov}(D_{t-1}, D_{t-p-1}) + \left(\frac{L}{p}\right)^2 \text{Var}(D_{t-p-1}) \\ & + z^2 \text{Var}(\hat{\sigma}_{et}^L - \hat{\sigma}_{e,t-1}^L) + 2z\left(1 + 2\frac{L}{p}\right) * \text{Cov}(D_{t-1}, \hat{\sigma}_{et}^L) \end{aligned}$$

Para evaluar $\text{Var}(q_t)$ se utiliza el lema 2.1

Lema 2.1

La demanda del consumidor es observada por el detallista, a través de múltiples variables lo que dan resultado una distribución simétrica con media igual a cero y varianza σ^2 . El estimado de la desviación estándar de L periodo del error está definida por la ecuación (3). Luego:

$$\text{Cov}(D_{t-i}, \hat{\sigma}_{et}^L) = 0 \text{ Para todo } i= 1, \dots, p$$

Lema 2.2

Bajo las condiciones del lema 2.1 el detallista usa un pronóstico promedio con p observaciones de la demanda, luego la varianza de las órdenes de pedido, q, hechas al fabricante satisfacen que:

$$\frac{\text{Var}(q_t)}{\text{Var}(D)} \geq 1 + \left(\frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2}\right) (1 - \rho^p)^1 \quad (5)$$

El límite ajustado es cuando $z=0$

Interpretación de Resultados

- 1.2.1 Aumentos en la variabilidad de pedido del detallista hacia el fabricante es una función de 3 parámetros: 1. (p) que es el número promedio de observaciones, 2. L , el parámetro del lead time y 3. ρ parámetro de correlación.
- 1.2.2 Aumentos en la variabilidad de las ordenes de pedido de detallista al fabricante es una función decreciente en p .
- 1.2.3 Entre más pequeña sean los pronósticos de demanda, mayor será la variabilidad.
- 1.2.4 Aumentos en la variabilidad de las ordenes de pedido de detallista al fabricante es una función creciente en L .
- 1.2.5 Entre más largo sean los lead times, el detallista deberá usar más información de la demanda de manera que puede reducir el efecto látigo, es decir, el detallista debe adelantarse con inventario.
- 1.2.6 El parámetro de correlación ρ tiene un impacto significativo en la variabilidad, ya que si $\rho \geq 0$, entonces $(1 - \rho^p) \leq 0$, lo que significa que la demanda está positivamente correlacionada y entre más grande sea este parámetro mayor será la variabilidad.

LIMITACIONES

- 1. Los excesos de inventario son regresados al área anterior sin costo alguno.
- 2. No se contempla cadenas de sistemas de multitareas divididas por subareas, es decir, Centros de Distribución, Múltiples detallistas, Plantas de Producción, Proveedor de Insumos y Fabricante.

MODELO DE CADENA DE SUMINISTRO MULTIAREA

El detallista comparte toda la información de la demanda a cada área de la cadena, y así mismo se transmite y se toma de la misma manera por todas las etapas, también las políticas de inventario y los pronósticos de la demanda. Esta información proviene del promedio del pronóstico de observaciones p , descrito por la ecuación:

$$y_t^k = L_k \widehat{D}_t + z_k \widehat{\sigma}_{et}^{L_k}$$
$$\widehat{\sigma}_{et}^{L_k} = c_{L_k, p} \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^p (e_{t-i})^2}{p} \right)}$$

Donde,

\widehat{D}_t : Estimado de la demanda media por periodo L_k

L_k : Lead times de cada área de la cadena K y $K+1$

z_k : Constante.

Nota:

No se considera el impacto que en las diferentes aéreas tienen sus pronósticos propios de demandas, políticas de inventario y/o producción y lead times.

En el período $t-1$ el detallista detecta la demanda del consumidor D_{t-1} (Área 1), calcula su orden de pedido para el período t , y_t^1 y las ordenes q_t^1 para reabastecer su inventario al nivel inicial y_t^1 . El fabricante (Área 2) recibe la orden de pedido q_t^1 , teniendo en cuenta que sabe la demanda del consumidor D_{t-1} , esto es posible en periodo $t-1$, este calcula su orden de pedido del siguiente período y_t^2 e inmediatamente produce la orden q_t^2 para abastecer su inventario y_t^2 y así para las demás aéreas intermediarias (Insumos de Materias primas, Compras).

Teorema 3.1 Ryan (1997), Che et al. (1998)

Considerando una cadena de suministro multitarea donde la demanda percibida por el detallista fluye a través de la cadena de la misma manera, con las variables y parámetros descritos anteriormente, con distribución simétrica, media igual a 0 y varianza. Se tiene que:

$$\frac{Var(q_t)}{Var(D)} \geq 1 + \left(\frac{2 \sum_{i=1}^k L_i}{p} + \frac{2 \left(\sum_{i=1}^k L_i^2 \right)}{p} \right) (1 - \rho^p) \text{ Para todo } k$$

$Z=0, i= 1, \dots, k$

3.2. CONSOLIDACIÓN DEL PENSAMIENTO

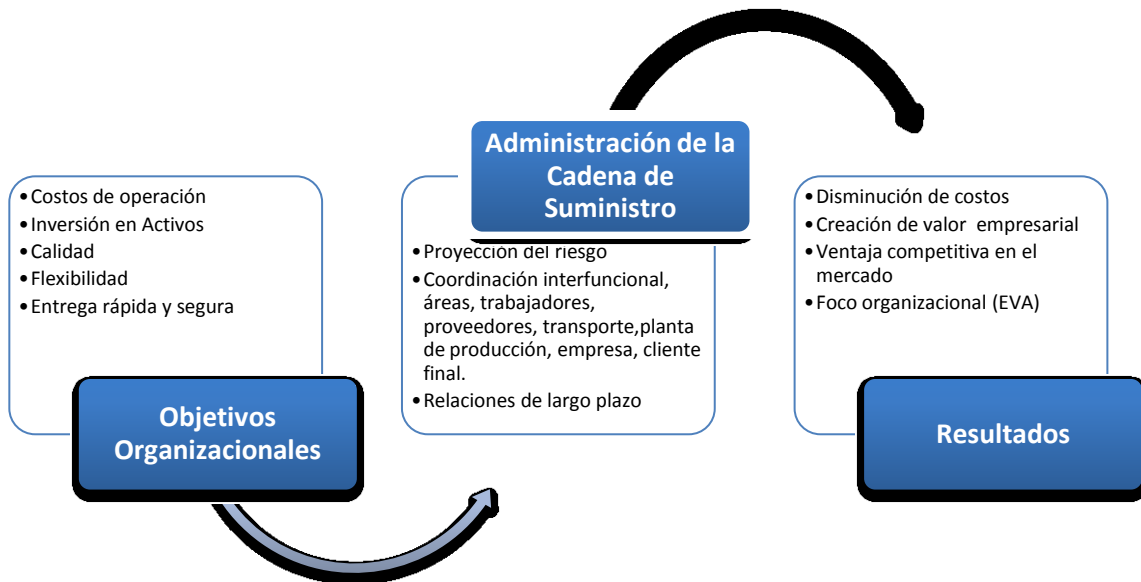
Bajo el esquema de competencia mundial, las empresas se ven enfrentadas a procesos de administración del riesgo para cumplir con estándares de calidad, eficiencia y productividad en sus procesos operativos, y poder ofrecer al cliente final un producto que cumpla con las expectativas de este. Para lograr estos y otros fines operacionales, la administración del riesgo en la cadena de suministro se define como la integración eficaz de los procesos de planeación, producción y entrega del producto final al consumidor a lo largo de la cadena de suministro (Supply-Chain Council 2008) en la medida que se eviten distorsiones que frenen el desarrollo de la cadena.

El concepto de riesgo que desarrollaremos para la construcción del modelo corresponde a la probabilidad de incidencia de eventos asociados a la distorsión del proceso operativo dentro de la planta de producción de una empresa y el impacto sobre la cadena de suministro, es decir, desde la consecución de las materias primas hasta que el producto es puesto al consumidor final. No obstante, eventos bajo incertidumbre no serán considerados en el modelo, ya que sus probabilidades son subjetivas y pueden llevar a resultados no representativos para la evaluación del riesgo en la cadena.

La administración del riesgo en la cadena (ARCS) puede ser definida como la coordinación y colaboración entre los agentes involucrados en el proceso de creación de valor y satisfacción de la demanda del cliente final al cual va dirigido todos los esfuerzos de la cadena, representado por el producto o servicio final. El concepto de ARCS ha cobrado importancia desde el momento en que las empresas se empezaron a preocupar por el desempeño en sus procesos y proveer los eventuales problemas que se podía presentar, por ello, los resultados de sus objetivos operacionales se han enfocado hacia la rentabilidad, confiabilidad y a la reducción de sus costos unitarios, de manera que se fortalezcan como empresa y

sean competitivos en el mercado, desde la consecución de materias primas hasta obtener la satisfacción del cliente.

Ilustración 2 Flujo de la Administración del Riesgo en la Cadena de Suministro



Fuente: Mentzer y Otros (2001), modificado para explicación del tema por parte de las autoras.

La ilustración anterior indica el proceso que deben adoptar las empresas, en la manera que orientes sus procesos productivos en alcanzar una visión alineada al resultado mediante la coordinación y control de sus prácticas productivas, a través de las administración de la cadena de suministro, el punto en el cual se reposan todos los riesgos y es la parte más vulnerable de la cadena al concentrar el 45% de la operación final, ya sea en la fabricación, transformación o cualquier modificación o agregación de valor agregado al producto final que será entregado al consumidor final.

La finalidad de la construcción de un modelo capaz de coordinar el proceso de administración de riesgo en la cadena de suministro, es poder tener control, monitoreo y evaluación de los riesgos en las diferentes etapas y lograr la continuidad efectiva de los procesos y la maximización de beneficios. (Tang 2005.; Deloitte: Enterprise Risk Services 2004). Esto significa que al lograr una administración del riesgo efectiva que optimice las operaciones de la cadena de suministro, la empresa generará confiabilidad en sus procesos y tendrá mayor grado de competitividad respecto a otras firmas.

Para el autor Condamin et al. (2006) existen tres posibles modos de evaluar la probabilidad: a través de métodos empíricos, teóricos y subjetivos. Nos concentraremos en buscar modelo o modelos que den resultados empíricos dado el enfoque del proyecto.

El autor Carson (2003) afirma que un modelo de evaluación del riesgo o modelo de simulación, permite analizar desde un enfoque descriptivo como es el proceso de transferencia de las acciones y comportamiento de cada agente perteneciente a la cadena, como medida para experimentar, evaluar y comparar muchos sistemas alternativos, los cuales son importante para determinar el rendimiento o nivel de confiabilidad y la identificación de los problemas del sistema o lo que para nuestro estudio llamaremos riesgo operacional.

Hay muchos tipos de modelos usados como base para la determinación de riesgos como una distorsión o motivo de paro de producción, o lo que podemos extender a toda la cadena, como el efecto látigo sucesivo de los problemas. Para el desarrollo de nuestra investigación, nos basamos en tres tipos de simulaciones: la primera es un modelo de *series*, en el que el riesgo es lineal entre los diferentes centros de trabajo o aéreas de la cadena, es decir, una vez ocurrida la distorsión el evento resultante detiene por completo el proceso del flujo de acciones en la cadena. El segundo modelo es *paralelo*, el cual la connotación del riesgo se basa en un dependencia entre las áreas, donde los centros de trabajo pueden verse

afectados directamente por la distorsión ocasionada por la eventualidad del problema, es decir, existe un alto índice de riesgo de parar la producción a causa del problema. Finalmente, el tercer tipo de simulación es la configuración de los dos anteriores, por el cual llamamos modelo *mixto*. En el capítulo de presentación y aplicación del modelo, se propone un análisis cualitativo y descriptivo de estos tipos de modelos, aplicados al caso de estudio de la empresa FANALCA S.A Sección Tuberías, como herramienta de vinculación la teoría analizada en la literatura aplicada a un caso real.

Un primer inicio a la construcción del modelo de evaluación del riesgo en la cadena de suministro, parte de la idea de que el modelo se compone de las relaciones entre los agentes (niveles de cooperación entre las áreas, la alienación de los intereses); comportamientos históricos en los procesos de la empresa (calidad, entrega a tiempo, escasez); recurso humano (operarios) y factores financieros (presupuesto y costos), ya que la interrelación entre las distintas áreas también hace parte del flujo de riesgo que se trasmite de una a otra, que representa una de las causas del efecto dominó del riesgo a lo largo de la cadena. Los parámetros de análisis en el modelo estarán orientados a la búsqueda en primer lugar del origen de riesgo, es decir la probabilidad de ocurrencia de un evento en cada agente miembro de la cadena, desde el proveedor hasta el consumidor final; en segundo lugar, la probabilidad de transferencia del riesgo en la cadena, y en tercer lugar, la probabilidad de repercusión. Pettere y Voronova (2003).

Basados en el modelo propuesto del estudio, bajo el título *Mitigating Supply Chain Vulnerability*, extraído de la revista *Journal of Marketing Channel* (2009), la fórmula del riesgo se deriva a partir de tres fuentes de riesgo: riesgos internos del subproducto, riesgo interno proveniente de la empresa y el riesgo externo proveniente de la cancelación del pedido por parte del consumidor.

Asumiendo que n es el número de áreas dentro de la cadena indexado por i , m son los proveedores indexado por j , p representa el producto final indexado por q , hay r firmas indexadas por b y hay k consumidores indexado por g , el índice de riesgo para las estructuras de la cadena nombradas anteriormente se presentan en la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Riesgo} = \sum_{q=1}^p \left(\sum_{i=1}^n \alpha s_{qi} \beta s_{qi} \left(1 - \left(1 - \prod_{j=1}^m P(\tilde{s}_{ij}) \right) \right) + \alpha f_q \beta f_q \left(1 - \left(1 - \prod_{b=1}^r P(\tilde{f}_{qb}) \right) \right) \right) + \alpha c_q \beta c_q \left(1 - \left(1 - \prod_{g=1}^k P(\tilde{c}_{qp}) \right) \right)$$

Donde,

αs_{qi} = es la consecuencia de que un subitem i no supla con el producto q

βs_{qi} = Es el porcentaje de valor añadido de producto q por i subitem

$P(\tilde{s}_{ij})$ = Es la probabilidad de que el proveedor j falle en la entrega del subitem i

αf_q = Es la consecuencia derivada de firma de que el producto q falle

βf_q = Es el porcentaje de valor añadido de producto q producido por la empresa

$P(\tilde{f}_{qb})$ = Es la probabilidad de que otra firma b falle en el producto q

αc_q = Es la consecuencia de la cadena de que el producto q falle en la venta

βc_q = Es el porcentaje de las ventas netas de toda la cadena representadas por el producto q

$P(\tilde{c}_{qp})$ = Es la probabilidad de que el consumidor g falle en el pedido del producto q .

El índice de riesgo es relativo a calcular la vulnerabilidad de la cadena de suministro. Valores pequeños del índice sugieren pequeñas o no fallas como efectos del proveedor, la empresa o el consumidor. Valores grandes del índice sugieren mayores y negativos efectos en la efectividad de la cadena de suministro,

debido a las interrupciones en el flujo del producto por toda la cadena hasta que este llega al mercado.

Además, se deberá tener en cuenta la forma en la cual las firmas planean su producción. Un sistema típico de planeación empieza con múltiples periodos de pronóstico de la demanda para cada producto final, así, el sistema atendiendo a los plazos de entrega, incluye los pronósticos de requerimientos que se necesitan para la producción.

Para la realización de los pronósticos que son útiles para la evaluación de las probabilidades que se han mencionado anteriormente, nos basaremos en un modelo dinámico que ha expuesto Stephen C. Graves, David B. Kletter y William B. Hetzel (2000), para la analizar los cambios en los pronósticos, donde el pronóstico para la planeación se toma como un proceso estocástico y puede ser empleado para múltiples etapas de la producción y el sistema de inventarios.

Además, se deberá tener en cuenta la forma en la cual las firmas planean su producción. Un sistema típico de planeación empieza con múltiples periodos de pronóstico de la demanda para cada producto final, así, el sistema atendiendo a los plazos de entrega, incluye los pronósticos de requerimientos que se necesitan para la producción.

Para la realización de los pronósticos que son útiles para la evaluación de las probabilidades que se han mencionado anteriormente, nos basaremos en un modelo dinámico que ha expuesto Stephen C. Graves, David B. Kletter y William B. Hetzel (2000), para la analizar los cambios en los pronósticos, donde el pronóstico para la planeación se toma como un proceso estocástico y puede ser empleado para múltiples etapas de la producción y el sistema de inventarios.

Dentro del proceso de hacer el pronóstico se asume un horizonte H , tal que en cada periodo de tiempo se tiene pronósticos para los requerimientos para los

siguientes H periodos. Se toma $f_t(t+i)$ como el pronóstico hecho en el periodo t para los requerimientos en el periodo $t+i$, $i = 1, 2, \dots$ y $f_t(t)$ como la demanda observada en el periodo t . Si $i > H$, se asume que $f_t(t+1) = \mu$, es decir, al promedio de la demanda.

Para cada periodo se genera un nuevo grupo de pronósticos $f_t(t+i)$ que incorpora nueva información acerca de la demanda futura. La revisión del pronóstico está dada por:

$\Delta f_t(t+i) = f_t(t+i) - f_{t-1}(t+i)$ para $i = 0, 1, 2 \dots H$, donde $f_{t-1}(t+H) = \mu$ (por supuesto).

Además, el error del periodo i , es la diferencia entre la demanda actual en el periodo t y el pronóstico de la demanda hecha en i periodos anteriores: $f_t(t) - f_{t-1}(t) = \Delta f_t(t) + \Delta f_{t-1}(t) + \dots + \Delta f_{t-i+1}(t)$.

Dado que la $Var(f_t(t) - f_{t-H-1}(t)) = Var(f_t(t))$, la varianza de la demanda como parámetro exógeno, impone una restricción sobre el proceso de pronóstico: la varianza de error del pronóstico sobre el horizonte del pronóstico puede igualar la varianza de la demanda.

Para evaluar la salida de producción, tenemos $F_t(t+1)$ como el plan de producción para el periodo $t+1$, donde $F_t(t)$ es la producción completada en el periodo t , asumiendo que el plan de producción se extiende para el horizonte H y que más allá de este periodo sólo se produce el promedio de la demanda tal que $F_t(t+1) = \mu$, si $i > H$.

A partir de lo anterior y el plan de revisión de la producción $\Delta F_t(t+i) = F_t(t+i) - F_{t-1}(t+i)$, tenemos que:

$$F_t(t+i) = \mu + \Delta F_{t+i-H}(t+i) + \dots + \Delta F_t(t+i)$$

Para el modelo del plan de producción, se necesita el modelo de plan de revisión $\Delta F_t(t+i)$ y para hacer este el proceso de inventario, es decir, $I_t(t+1) = I_t + F_t(t+1) + \dots + F_t(t+i) - f_t(t+1) - \dots - f_t(t+i)$ donde $I_t = I_{t-1} + F_t(t) - f_t(t)$. Se asume que para cada periodo t el plan de producción es $F_t(t+i)$ tal que, la planeación del inventario en el final del horizonte $I_t(t+H)$ es una constante, ya que si se mantiene de periodo a periodo la producción, al final del H el inventario ni crece ni decrece, este nivel de inventario es llamado inventario de seguridad.

Para asegurar que el inventario al final del horizonte permanezca constante se requiere que la revisión acumulativa del plan de producción sea igual a la revisión acumulativa del pronóstico cada periodo. Para esto, se modela el programa actualizado de producción como un sistema lineal:

$$\Delta F_t(t+i) = \sum_{j=0}^H w_{ij} \Delta F_t(t+j)$$

Donde w_{ij} denota la revisión del pronóstico que afecta la programación, es decir, es la proporción de la revisión del pronóstico para el periodo $t+j$ que es agregado en la salida del programa de producción para el periodo $t+i$. $0 < w_{ij} < 1$.

W_{ij} es una proporción que puede interpretarse ya sea como una variable de decisión en el modelo prescriptivo o como parámetro en el modelo descriptivo. Para minimizar el inventario se pone la proporción tal que el plan de producción rastree a pronóstico lo más cerca posible (para un j fijo, $W_{ji} = 1$ para $i=j$ y $W_{ji}=0$ en otro caso). En este sentido la especificación de la proporción permite balancear el tradeoff entre una producción suave y los requerimientos del inventario.

Atendiendo al análisis cuantitativo para evaluar el riesgo y el análisis cualitativo para la determinación de factores que determinan riesgo, se espera implementar

estrategias que ayuden a mitigar el riesgo y optimizar el proceso operativo de la cadena de suministro integrando de manera eficiente cada área de la cadena.

4. PRESENTACIÓN DEL MODELO

4.1 MODELO GENERAL

El estudio probabilístico se abordará desde el punto de vista de la investigación realizada por Brian D. Neureuther y George Kenyon (2009), en un *paper* denominado “*Mitigating Supply Chain Vulnerability*”, en el cual desarrollan un modelo que permite evaluar la vulnerabilidad de las diferentes estructuras de la cadena de suministro, a través del cálculo de probabilidades de falla en cada una de ellas y determinar así el índice de evaluación de riesgo en toda la cadena de suministro, mediante la suma de cada una de las probabilidades.

El modelo general es:

$$\text{Índice de Riesgo} = \sum_{q=1}^p \left(\sum_{i=1}^n \alpha_{s_{qi}} \beta_{s_{qi}} \left(1 - \left(1 - \prod_{j=1}^m P(\tilde{s}_{ij}) \right) \right) + \alpha_{f_q} \beta_{f_q} \left(1 - \left(1 - \prod_{b=1}^r P(\tilde{f}_{qb}) \right) \right) \right) + \alpha_{c_q} \beta_{c_q} \left(1 - \left(1 - \prod_{g=1}^k P(\tilde{c}_{qp}) \right) \right)$$

Donde,

$\alpha_{s_{qi}}$ = es la consecuencia de que un subitem ith no supla con el producto qth

$\beta_{s_{qi}}$ = Es el porcentaje de valor agregado de producto qth por ith subitem

$P(\tilde{s}_{ij})$ = Es la probabilidad de que el proveedor jth falle en la entrega del subitem ith

α_{f_q} = Es la consecuencia derivada de firma de que el producto qth falle

β_{f_q} = Es el porcentaje de valor agregado de producto qth producido por la empresa

$P(\tilde{f}_{qb})$ = Es la probabilidad de que otra firma hth falle en el producto qth

αc_q = Es la consecuencia de la cadena de que el producto qth falle en la venta

βc_q = Es el porcentaje de las ventas netas de toda la cadena representadas por el producto qth

$P(\tilde{c}_{qp})$ = Es la probabilidad de que el consumidor gth falle en el pedido del producto qth.

El modelo que se va a desarrollar en este trabajo, se enfoca únicamente en el cálculo de las probabilidades de falla en una de las estructuras de la cadena de suministro: la planta de producción. Para ello se tomarán tres formas de sistemas de configuración de operaciones, las cuales tiene en cuenta las áreas críticas y la incertidumbre asociada con la operación de producción en general.

El sistema básico de configuraciones para un estudio de confiabilidad son un modelo de series, paralelo y mixto (Andrews & Moss, 1993; Kolarik, 1995). Asumiendo el acopio o dependencia en las diferentes áreas de producción se trabaja bajo un sistema en serie; por el contrario, si no existe acopio en la producción, se emplea el sistema en paralelo. Si hay independencia en algunas áreas y en otras no, se puede utilizar un sistema mixto. Los modelos mencionados anteriormente, se desarrollaran a continuación:

CONFIGURACIÓN DE SERIES

Se define un modelo en serie como aquel sistema en el que el flujo de capacidades, maquinas, tecnologías e información sólo tiene un camino para llegar al punto de partida, sin importar los elementos intermedios, es decir, el riesgo es continuo una vez ocurre en su punto inicial. En caso concreto, sólo si se mitiga el riesgo en su punto inicial podrá corregirse la distorsión, pues existe acopio en las diferentes áreas de producción.

El modelo en serie está dado por la siguiente ecuación:

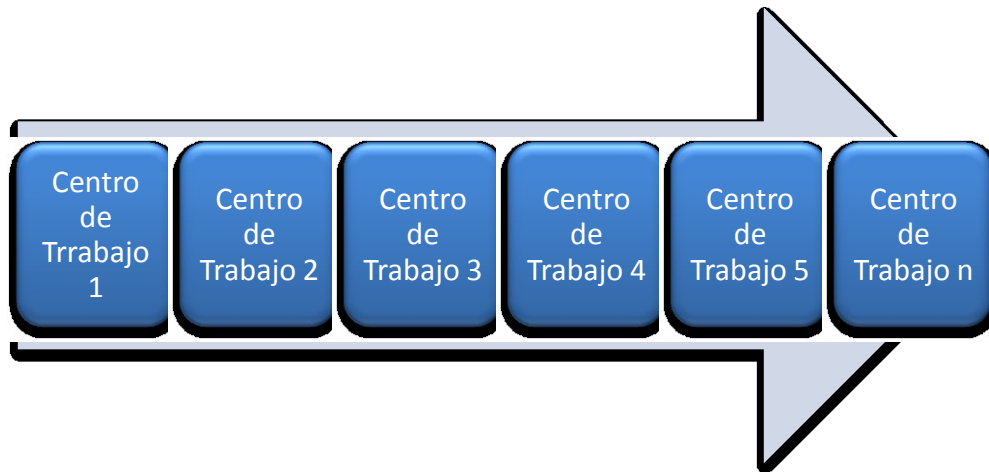
$$R_{sys} = \prod_{v=1}^z P(x_v)$$

Donde,

$P(x_v)$ = Probabilidad de suceso del componente

El siguiente esquema representa la relación en serie (con acopio) de cada una de las áreas de producción (1...n).

Ilustración 3: Modelo en series



Fuente: ilustración propia.

CONFIGURACIÓN PARALELO:

Bajo el esquema de modelo en paralelo, el flujo de distorsiones en la producción se da por las áreas donde existe dependencia, mientras que áreas que trabajan en paralelo son independientes y pueden operar así otras (que trabajen en paralelo a esas) hayan parado su actividad. La ecuación del modelo en paralelo está dado por:

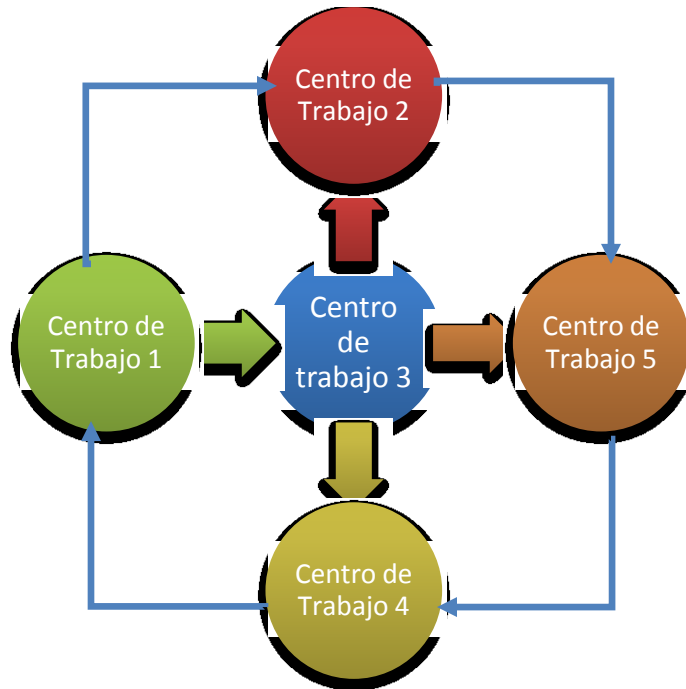
$$R_{sys} = 1 - \prod_{v=1}^z P(\tilde{x}_v)$$

Donde,

$P(\tilde{x}_v)$ = Probabilidad de que falle el componente $1 - P(x_v)$

El esquema representa la relación en paralelo (sin acopio) de las áreas de producción 2, 3 y 4, de las cuales depende el área 5.

Ilustración 4: Modelo en Paralelo



Fuente: Ilustración propia

CONFIGURACIÓN MIXTA

El esquema representa la relación serial entre las áreas de producción 1 y 2, y en paralelo entre las áreas 3 y 4, de las cuales depende el área 5. Es una combinación de producción de áreas tanto en serie como en paralelo, formando un sistema de producción mixta.

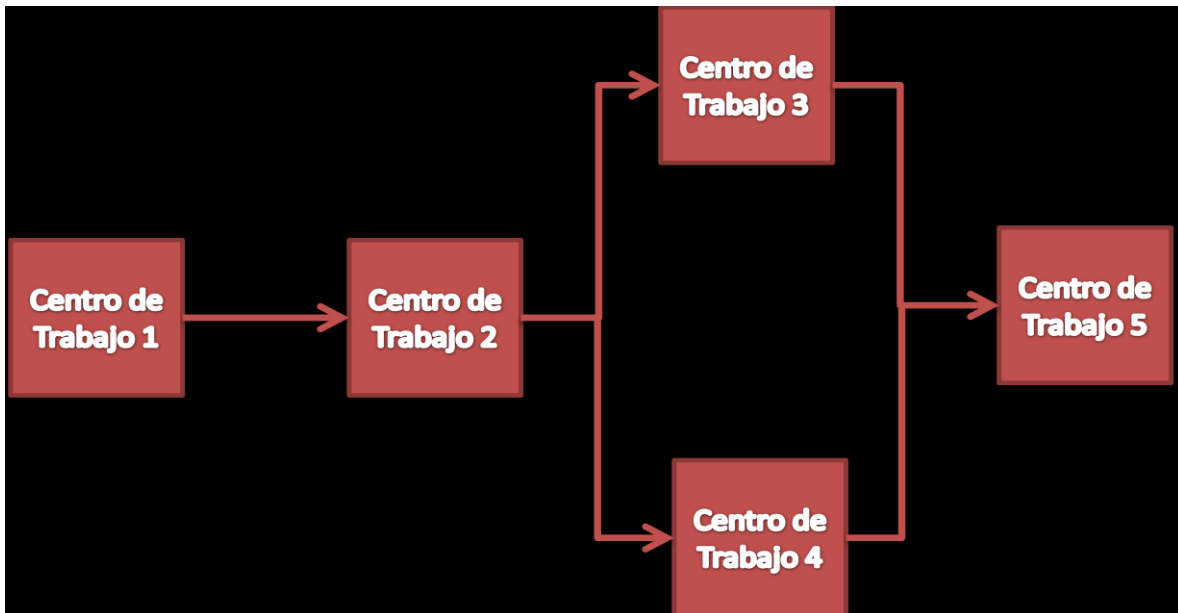
El modelo mixto está dado por la siguiente ecuación:

$$R_{sys} = P(B_1 \cup B_2 \cup B_3 \dots \cup B_{C_i})$$

Donde,

B_j = Configuración de jth subproblema

Ilustración 5: Modelo Mixto



Fuente: Ilustración propia.

4.2. EJEMPLIFICACIÓN DE LOS MODELOS

Suponga que la probabilidad de falla en el centro 1 es del 12%, en el centro 2 es del 7%, en el centro 3 es del 10%, en el centro 4 es del 14% y en el centro 5 es del 5%. El nivel de confiabilidad de toda la cadena de producción en cada uno de los modelos vendrá dada por:

Modelo en Serie:

$$C = (1 - P_1)(1 - P_2)(1 - P_3)(1 - P_4)(1 - P_5)$$
$$C = (1 - 0,12)(1 - 0,07)(1 - 0,1)(1 - 0,14)(1 - 0,05)$$
$$C = 60,17\%$$

Donde,

C = Nivel de confianza de todo el proceso productivo.

P = Probabilidad de falla en cada centro.

El nivel de confiabilidad de todo el proceso productivo en serie es del 60, 17%.

Modelo en Paralelo:

$$C = 1 - \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5)}{5}$$
$$C = 1 - \frac{(0,12 + 0,07 + 0,1 + 0,14 + 0,05)}{5}$$
$$C = 90,4\%$$

El nivel de confiabilidad de todo el proceso productivo en paralelo es del 90,4%.

Modelo Mixto:

$$C = (1 - P_1)(1 - P_2)(1 - P_{3,4})(1 - P_5)$$
$$C = (1 - P_1)(1 - P_2)(1 - (P_3)(P_4))(1 - P_5)$$
$$C = (1 - 0,12)(1 - 0,07)(1 - (0,1)(0,14))(1 - 0,05)$$
$$C = 76,6\%$$

El nivel de confiabilidad de todo el proceso productivo mixto es del 76,66%.
Se puede observar que cuando el modelo de producción es en paralelo, el nivel de confianza es mayor que cuando el modelo de producción se hace en serie o mixta. Esto se da debido a la independencia de los centros 2, 3 y 4, que representan las áreas autónomas del proceso de producción, que pese a que si en alguna de ellas se detiene su actividad, no afecta el flujo de operación en su totalidad.

5. APLICACIÓN DEL MODELO

En esta sección se desarrolla la aplicación de la teoría, al caso de análisis de la empresa FANALCA S.A, en la División de Tuberías.

5.2. ESTRUCTURA OPERATIVA - FANALCA S.A. DIVISIÓN DE TUBERÍAS

5.2.1. Proceso productivo

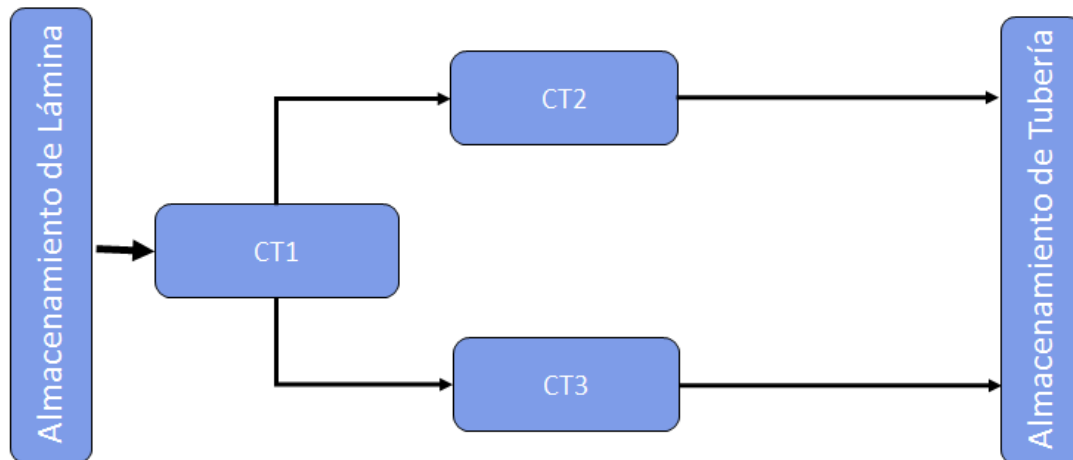
En la producción de tubos se utilizan tres tipos de láminas de acero importadas principalmente de China y Brasil: Cold Rolled, Aguanegra Hot Roller y Galvanizada, las cuales son usadas en la fabricación de estructuras metálicas, muebles, autopartes, cerramientos, industriales y construcción.

Las láminas de acero son cortadas en flejes dependiendo de las especificaciones del tubo que se quiera fabricar, los cuales son sometidos a un proceso de formado que se obtiene al pasarlos por una serie de rodillos y sus bordes que se fusionan mediante el método de inducción eléctrica de alta frecuencia. Para determinar el largo del tubo se utiliza una sierra idónea para la corte de tubos, equipada con PLC, para programar el corte en secuencia óptima con el fin de aprovechar al máximo la capacidad productiva de la máquina y reducir los desperdicios de lámina.

Una vez cortados los tubos, se someten a un proceso de calidad mediante presión hidráulica del material, para asegurarse que soldadura del producto terminado sea lo suficientemente consistente y se cumplan las especificaciones de la orden de producción. Cuando los tubos cumplen con el control de calidad, se almacenan en la bodega por el tipo de referencias.

5.3. ESQUEMA DE PRODUCCIÓN- CADENA DE SUMINISTRO DE LA PRODUCCIÓN DE TUBERÍAS

Gráfico 1: Cadena de Suministro Fanalca S.A - Sección Tuberías.



Fuente: Ilustración suministrada por FANALCA S.A.

El esquema representa la estructura productiva de la división de tuberías de FANALCA S.A el cual está conformado por el almacenamiento de la materia prima (láminas de acero) y tres centros de trabajo. El primero de ellos corresponde al área en la cual se desdobra las láminas de acero que han sido cortadas en flejes dependiendo de las especificaciones de la orden de producción y son transportadas a las máquinas del centro de trabajo dos y tres. El segundo y tercer centro de trabajo, representan dos tipos de máquinas, la OTO y la MEP respectivamente, las cuales se encargan de la soldadura y corte de la tubería, se diferencian en la capacidad y velocidad de producción y por último, el área de almacenamiento de la tubería producida.

5.4. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y DATOS RELEVANTES

La información suministrada proviene de datos históricos desde el año 2008 hasta el 2011 de la planta de producción de la división de tubería de FANALCA S.A, los cuales contienen la cantidad de horas y el motivo de paro ocurridos en los centros de trabajo 2 y 3 de la planta durante esos años. Estos datos se emplearan para determinar el nivel de confiabilidad de que la planta opere de forma eficiente.

Además, se tienen datos de los costos asociados a nómina, arrendamientos y seguros para cada centro de trabajo en esos mismos años. Con estos se busca cuantificar el costo total de la hora perdida dado los paros. En los anexos podemos encontrar toda la información y datos suministrados por la empresa, lo cuales fueron aplicados al modelo de la investigación.

5.5. APLICACIÓN DEL MODELO: Caso de estudio

El modelo de evaluación del riesgo que se va a aplicar para el caso de la planta de producción de la división de tuberías de FANALCA S.A, tiene en cuenta las probabilidades de paro en los centros de trabajo, atendiendo al motivo y cantidad de horas de paro en cada uno de ellos.

Dado el sistema de producción de la planta de tuberías, se emplea el modelo de producción mixto, en donde el área de almacenamiento de materia prima trabaja en serie con el centro de trabajo 1, los centros de trabajo 2 y 3 trabajan en paralelo y estarán relacionados en serie con el área de almacenamiento de la producción final del tubo.

En la aplicación del modelo de producción para la división de tuberías de FANALCA S.A, tiene en cuenta los datos suministrados por la empresa, que corresponden al motivo y cantidad de horas de paro en cada centro para los años 2008, 2009, 2010 y 2011. Para ello se asume lo siguiente:

2 turnos de trabajo de 8 horas/día de lunes a sábado y 240 días hábiles de trabajo al año. Así, el número de horas de trabajo anual están dadas por:

- **Horas de Trabajo anual:** (16Hora/día*240días/año) = 3840 Horas/año

Entonces, el nivel de confianza representado por el sistema mixto de producción para la división de tuberías de FANALCA S.A corresponde a:

$$C = ((1 - (P(Alm1)) * (1 - (P(Ct1)) * (1 - (P(Ct2) * P(Ct3)))) * (1 - P(Alm2))))$$

Donde,

P(Alm1): corresponde a la probabilidad de falla del centro de almacenamiento 1.

P(Ct1): corresponde a la probabilidad de falla del centro de trabajo 1.

P(Ct2): corresponde a la probabilidad de falla del centro de trabajo 2.

P(Ct3): corresponde a la probabilidad de falla del centro de trabajo 3.

P(Alm2): corresponde a la probabilidad de falla del centro de almacenamiento 2.

La probabilidad de falla está dada por:

$$P(x)_i = \frac{\sum_{i=j}^n \text{horas de paro}}{\text{horas trabajo anual}}$$

Donde,

P(x)_i: corresponde a la probabilidad de fallo en cada centro de trabajo.

i = j corresponde a la cantidad de horas perdidas por cada j motivo de paro.

A continuación se muestran las tablas correspondientes al nivel de confianza en la producción durante el 2008- 2011:

Tabla 1: Nivel de Confianza en la producción para el año 2008

AÑO 2008			
Centros de Producción	Horas Perdidas/Año	Horas Perdidas/Horas Trabajadas	Probabilidad
Almacenamiento 1	2,28	0,00059	0,999
Centro de T1	138,54	0,03608	0,964
Centro de T2	366,31	0,09539	
Centro de T3	392,48	0,10221	
Almacenamiento 2	2,90	0,00076	0,999
Nivel de Confianza	95,32%		

Fuente: Cálculos propios con base en datos históricos de motivos de paro en la producción de tuberías de FANALCA S.A.

Tabla 2: Nivel de Confianza en la producción para el año 2009

AÑO 2009			
Centros de Producción	Horas Perdidas/Año	Horas Perdidas/Horas Trabajadas	Probabilidad
Almacenamiento 1	0,94	0,000244141	0,999755859
Centro de T1	175,63	0,045735677	0,954264323
Centro de T2	358,09	0,093251953	
Centro de T3	333,04	0,086728516	
Almacenamiento 2	5,04	0,001311849	0,998688151
	872,73		
Nivel de Confianza	94,51%		

Fuente: Cálculos propios con base en datos históricos de motivos de paro en la producción de tuberías de FANALCA S.A.

Tabla 3: Nivel de Confianza en la producción para el año 2010

AÑO 2010			
Centros de Producción	Horas Perdidas/Año	Horas Perdidas/Horas Trabajadas	Probabilidad
Almacenamiento 1	0,70	0,000182292	0,999817708
Centro de T1	107,73	0,028053385	0,971946615
Centro de T2	379,64	0,098863932	
Centro de T3	421,39	0,109736328	
Almacenamiento 2	1,88	0,000488281	0,999511719
		0	1
Nivel de Confianza	96,12%		

Fuente: Cálculos propios con base en datos históricos de motivos de paro en la producción de tuberías de FANALCA S.A.

Tabla 4: Nivel de Confianza en la producción para el año 2011

AÑO 2011			
Centros de Producción	Horas Perdidas/Año	Horas Perdidas/Horas Trabajadas	Probabilidad
Almacenamiento 1	0,65	0,000169271	0,999830729
Centro de T1	75,89	0,01976237	0,98023763
Centro de T2	491,53	0,128001302	
Centro de T3	369,35	0,096184896	
Almacenamiento 2	1,84	0,000478516	0,999521484
			0
Nivel de Confianza	96,80%		

Fuente: Cálculos propios con base en datos históricos de motivos de paro en la producción de tuberías de FANALCA S.A.

Para analizar el costo en términos monetarios asociado a la pérdida de horas de trabajo por paro en los centros de trabajo, se tiene en cuenta los costos incurridos en cada uno de ellos, los cuales corresponden a arrendamiento, nómina y seguros, determinando el costo por hora de trabajo y el costo total por horas perdidas.

$$\text{Costo(hora)} = \frac{\text{Costo total anual}}{\text{total horas de trabajo anual}}$$

$$\text{Costo(falla)} =$$

$$\text{Costo hora} * \text{Cantidad de horas perdidas en cada centro de trabajo.}$$

Dado los datos proporcionados por FANALCA S.A, fue posible calcular los costos asociados a los centros de trabajo 1, 2 y 3.

Tabla 5: Costo económico asociado a paros en los centros de trabajo.

Costo por hora de trabajo	2008	2009	2010	2011
CT 1	43113,30184	47339,57309	50768,88346	58418,96641
CT 2	95640,44468	71195,38769	83002,71077	110257,4978
CT 3	202572,6853	192937,1357	229327,8248	262390,6548

Costo x hora de trabajo perdida	2008	2009	2010	2011
CT 1	5972809,054	8314012,523	5469077,971	4433269,313
CT 2	35034290,39	25494178,39	31510941,61	54194316,59
CT 3	79504714,68	64255301,33	96635878,79	96913988,34

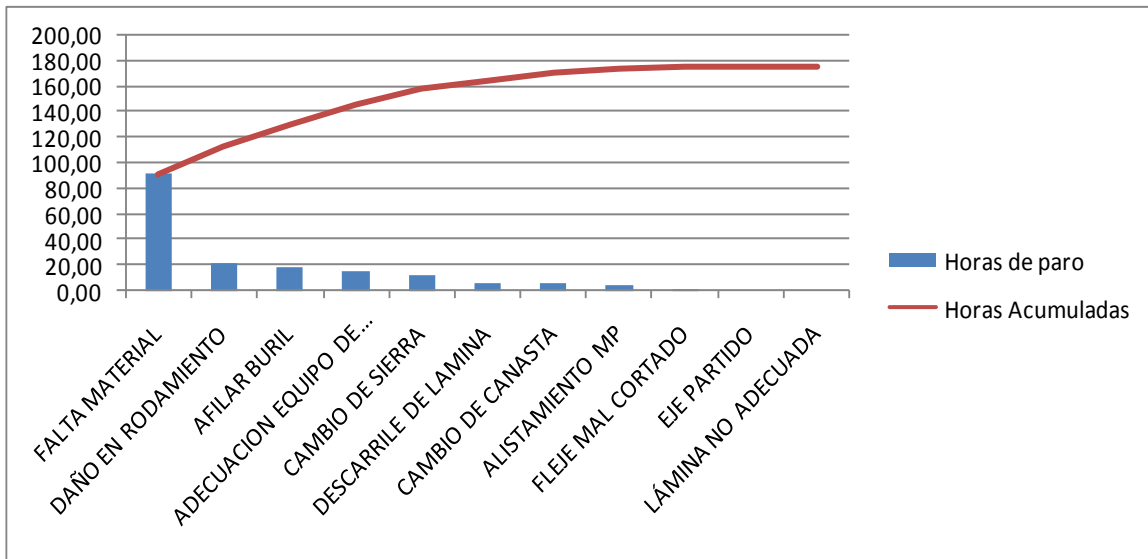
Ct x hr de trabajo perdida/Ct total	2008	2009	2010	2011
CT 1	3,61%	4,57%	2,81%	1,98%
CT 2	9,54%	9,33%	9,89%	12,80%
CT 3	10,22%	8,67%	10,97%	9,62%

Fuente: Cálculos propios con base en datos históricos de costos asociados en la producción de tuberías de FANALCA S.A.

Ahora bien, una vez establecidos el nivel de confianza y los costos asociados a la pérdida de horas de trabajo dado los motivos de paro en los centros de trabajo, desde el 2008 hasta el 2009, resulta útil elaborar un diagrama de Pareto, mediante el cual se pueda establecer un orden de prioridades de los pocos vitales, representados por la causa de falla, a fin de analizar cuáles son esos factores que tienen mayor repercusión y afectan directamente el proceso de producción, para así tener presente aquellos riesgos que se deben mitigar con mayor prioridad y reducir su nivel de impacto dentro de la producción, a través de planes de contingencia.

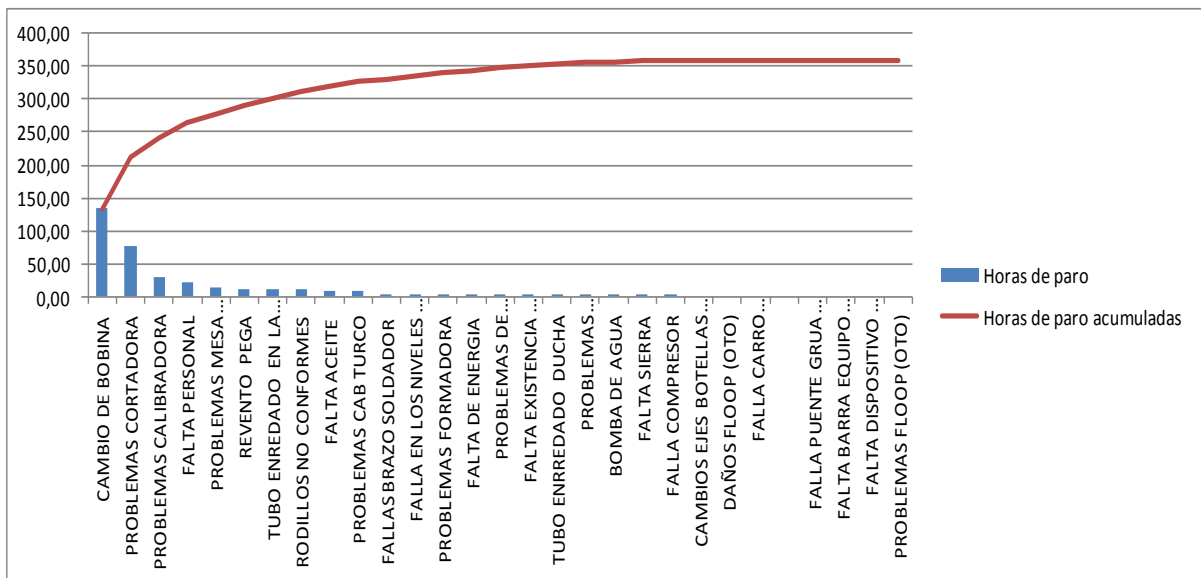
El diagrama de Pareto se empleará para el año 2009, dado que representó el periodo en el cual el nivel de confiabilidad fue menor respecto a los demás años analizados y para los centros de trabajo 1, 2 y 3, que son las áreas más sensibles para sufrir fallas.

Gráfico 1: Diagrama de Pareto Centro de Trabajo 1 Año 2009



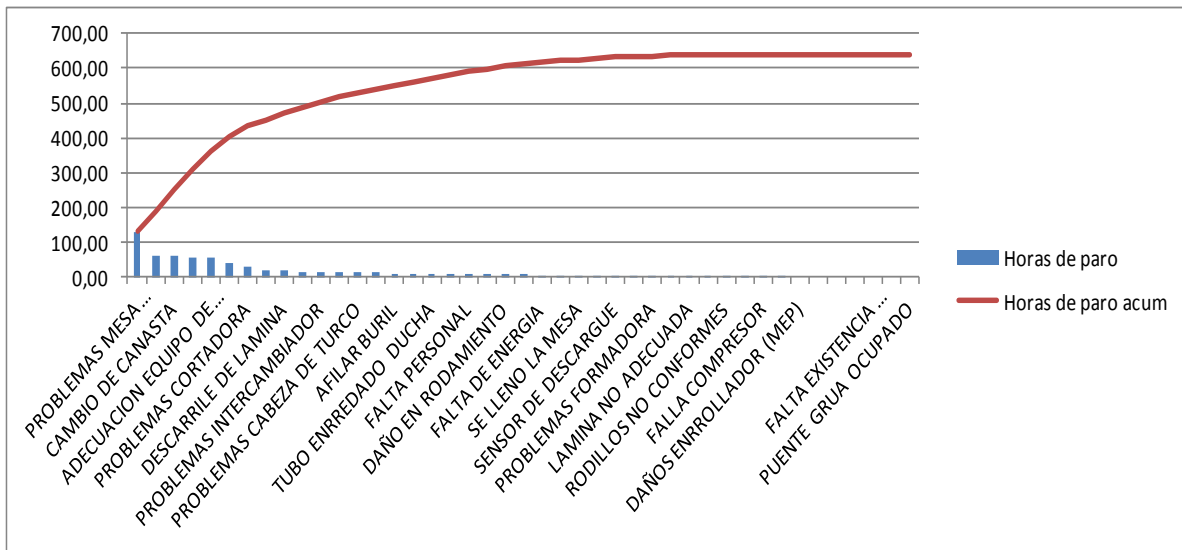
Fuente: Cálculos propios, con base en datos históricos proporcionados por FANALCA S.A.

Gráfico 2: Diagrama de Pareto Centro de Trabajo 2 Año 2009



Fuente: Cálculos propios, con base en datos históricos proporcionados por FANALCA S.A.

Gráfico 3: Diagrama de Pareto Centro de Trabajo 3 Año 2009



Fuente: Cálculos propios, con base en datos históricos proporcionados por FANALCA S.A.

6. RESULTADOS

El nivel de confianza designado mediante $(1 - \alpha)$, donde α viene dado por el cálculo de la probabilidad de fallas en los centros de trabajo de la planta de producción, permite determinar el grado de impacto que estas tienen sobre el flujo operativo en su conjunto, determinando que tan eficiente o seguro puede llegar a ser el proceso de producción como tal, pese a los posibles paros que se presenten en la actividad operativa.

En general, el nivel de confiabilidad en la producción de la división de tuberías de FANALCA para los años 2008, 2009, 2010 y 2011, es alto, pues se encuentran cerca al nivel de confiabilidad deseado de 100%, que corresponde a un proceso de producción eficiente y sin problemas de fallo en el flujo operativo. Así, los niveles de confiabilidad en la planta de producción oscilan entre un 94% y un 97% dentro de estos años, lo cual indica que pese a los diferentes motivos de paro y las horas perdidas en los diferentes centros de trabajo (ver anexo 1), no se ve afectada en gran medida la continuidad del proceso de producción, a esto, se le puede aunar el hecho de que como el sistema de producción es mixto, dentro de él hay áreas de producción en paralelo, que corresponden a la producción en máquinas independientes una de la otra, lo cual ayuda a disminuir la probabilidad de falla en conjunto de todo el sistema, al poderse producir en cualquiera de ellas, pese a que alguna pare su actividad.

Por otro lado, los costos asociados a la pérdida de horas de trabajo (ver anexo 2) dado los paros que se pueden incurrir en los centros de trabajo, representan un porcentaje bajo respecto al total de los costos en cada centro, dado en gran medida a la alta confiabilidad en el proceso de producción, sin embargo habría que atender, los costos que superen más del 8% o 10% en cada centro y tener en cuenta cual es el motivo de fallo que afecta en gran medida el aumento de costos perdidos. En este caso, dentro del proceso de producción de tubería, la mayoría de las actividades dependen en gran proporción del uso de mano de obra, que

implica incurrir en un costo alto en este rubro, al presentarse una falla asociada a esta, la capacidad de respuesta puede retardarse un poco y por ende aumentar las horas de trabajo perdidas e incrementar el costo de la producción.

El diagrama de Pareto, permite identificar que en el año 2009, el principal motivo de paro en el centro 1, está dado por la falta de material para ser transportado a cada una de las maquinas y sea transformado en tubo, el cual constituye el 52% de las causas que hacen que la actividad se vea interrumpida. Otros dos causales de paro, pero en menor proporción, están dados por daños en los rodamientos y por afilación de buriles. Esto implica que alrededor del 25% de los problemas identificados en este centro están ocasionando el 75% de horas de trabajo perdidas.

En el centro de trabajo 2, el principal motivo de paro está dado por el cambio de bobina, seguido por los problemas en la cortadora, representando los causales del 60% de las horas de trabajo perdidas en este centro.

Problemas en la mesa de compresión representa el principal motivo de paro en el centro de trabajo 3, sin embargo existen otros problemas que tienen un impacto similar en la actividad de operativa de este centro, que involucran un porcentaje alto del total de horas de trabajo perdidas.

Los problemas más frecuentes a los que se enfrenta la división de tuberías de FANALCA teniendo en cuenta de antemano los causales de paro en la actividad operativa de los diferentes centros de trabajo y los análisis realizados, vienen dados por las distorsiones presentadas en el centro de trabajo 1, que constituye el centro en el cual se despacha el material que según especificaciones de órdenes de producción, deben ser procesados en los centros de trabajo 2 y 3 para obtener el producto final, significando así el principal punto de sensibilidad dentro de todo el sistema de producción, además de tener una relación en serie con estos centros, que implica una fuerte dependencia entre ellos.

De igual forma, el incremento en los costos incurridos en la producción podrían estar asociados a altos niveles de inventario sin procesar, es decir, el insumo primario almacenado que ocupa una superficie considerable de espacio en bodega y pérdida de tiempo al presentarse algunas de las fallas en los centros de trabajo que limitan el trabajo del personal y se tenga que incurrir en pago de horas extras. Dado esas posibles fallas y la demora en atenderlas, podría significar que el producto final no supla los estándares de calidad y tenga que venderse por debajo del precio establecido.

Por último, sería interesante y útil una vez analizados los motivos de paro en la planta de producción y algunos costos asociados a ella, entrar en detalle (si se contara con mas información) en la rentabilidad que puede representar la actividad operativa, a través del valor económico agregado (EVA), en la medida en que sea posible determinar por medio de la probabilidad de ocurrencia del riesgo, el costo de financiación de dicho riesgo, es decir, en términos económicos cuál sería la pérdida en gastos debido al paro de producción o defectos de calidad, representados en devoluciones de pedido, producción de segunda categoría (a menor precio), demoras en la entrega y mayor tiempo de pago, entre otros, que pueden afectar la rentabilidad de la empresa. Por lo tanto, en esta medida se considera la productividad de todos los factores utilizados para desarrollar la actividad productiva y la rentabilidad superior a su costo.

7. CONCLUSIONES

El riesgo es la sensibilidad o el grado de vulnerabilidad de la cadena de suministro, en el cual la continuidad del proceso productivo está expuesta a interrupciones ocasionadas por la probabilidad de ocurrencia de eventos originados en las operaciones propias de la empresa.

La implementación de una estrategia de administración del riesgo en la cadena de suministro, constituye una importante participación de herramientas tecnológicas que soporten las actividades y mejoren la eficiencia en los procesos, así mismo, el factor humano representa un elemento indispensable en la mitigación del riesgo, al tener la capacidad de anticiparse a los hechos, a través de planes de contingencia o una reacción de respuesta rápida. Sin embargo, estas herramientas deben estar acompañadas por una adaptación de los procesos de producción y organizacionales determinadas por quienes son los responsables de la toma de decisiones de la empresa.

La administración del riesgo en la cadena no implica necesariamente eliminar o reducir los riesgos, también incluye la búsqueda de oportunidades derivadas de la incertidumbre (Knight and Petty, 2001). El mejor enfoque para gestionar los riesgos de la cadena de suministros no es el trabajo aislado de cada organización, sino el trabajo conjunto coordinando esfuerzos para reducir la vulnerabilidad general de toda la cadena.

Una mejor forma de hacer un análisis cuantitativo especializado, es mediante el uso de la simulación Monte Carlo, en la cual las variables que provienen de eventos bajo incertidumbre se pueden representar a través de probabilidades que son halladas por la incidencia del problema en la cadena o lo que es lo mismo, a través de datos históricos, lo cual fue una herramienta útil para el desarrollo de esta investigación. Los resultados de la aplicación del modelo general de evaluación del riesgo a un caso particular, como lo fue la empresa FANALCA S.A

se derivaron del cálculo de probabilidad de fallo, dado motivos de paro en los centros de trabajo, mediante el análisis histórico, resultados gráficos, análisis del nivel de confiabilidad del proceso teniendo en cuenta los riesgos y finalmente un análisis económico de los costos que se pueden incurrir dado los riesgos que se producen.

Dado que el riesgo es un evento que por naturaleza es imprevisto, las empresas deben emplear planes de contingencia que permitan mitigar el grado de impacto que estos pueden tener sobre la producción, y saber identificar aquellos riesgos que pueden representar pocos vitales y diferenciarlos de los muchos triviales, a fin de concentrar los esfuerzos en los que realmente afectan en gran medida el proceso de producción y no desviarse en problemas que si bien tienen algún impacto, no distorsionan en una proporción alta la actividad operativa.

En este sentido, las diferentes áreas de producción deben generar una configuración en sus procesos, de tal modo que forme un sistema que sea lo suficientemente flexible para tener una mayor capacidad de respuesta ante eventos inesperados y tener las herramientas listas para a la identificación, análisis, evaluación y mitigación de los riesgos presentes en durante todo el proceso de producción.

Por último, el uso de modelos de probabilidad para evaluar el nivel de confiabilidad en los procesos productivos, representa una herramienta útil, para analizar el grado de eficiencia de la empresa a través de la identificación de factores que influyen en el paro de las actividades operativas y la aplicación de estos modelos (serie, paralelo o mixto) de acuerdo al sistema de producción propia de cada empresa.

8. BIBLIOGRAFÍA

8.1. Citas de autores relevantes del estudio

- Andrews y Moss (1993)
- Condamin et al. (2006)
- Carson (2003)
- Kahn (1987)
- Kolarik (1995)
- LaLonde (1997)
- Pettere y Voronova (2003)
- Rowe (2006)
- Tang (2005)
- Zsidisn y Blume (2004)

8.2. Revistas

Brindley, C.; Ritche, B. (2004). Supply Chain Risk, Supply Chain Risk. Ashgate Publishing Ltd, Pág. (3–13).

Calderón, J y Lario, F. (2007). Supply Chain Simulation: New Applications and Development Areas. *Inf. tecnol.* [online], vol.18, n.1 [citado 2012-05-08], pp. 137-146.

Chen, F; Drezner, Z; Ryan, J y Simchi-Levi, D. (2000). Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times, and Information Frank. *Management Science*, Vol. 46, pp. 436-443.

Datta, S; Granger, C. W. J; Barari M; Gibbs, T (2007). Management of Supply Chain: An Alternative Modelling Technique for Forecasting. *The Journal of the*

Operational Research Society, Vol. 58, No. 11 Part Special Issue: Risk Based Methods for Supply Chain Planning and Management, pp. 1459-1469.

Jüttne, U; Peck H; Christopher M, (2003). SUPPLY CHAIN RISK MANAGEMENT: OUTLINING AN AGENDA FOR FUTURE RESEARCH. *International Journal of Logistics: Research & Applications*, Vol. 6, No. 4, pp. 197-210.

Klimov, R; Merkurjev, Y (2008). Simulation Model for Supply Chain Reliability Evaluation. *Baltic Journal on Sustainability*. Vol. 14, No 3, pp. 300–311.

Lee, H; Padmanabhan, V y Whang, S, (2004). Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect. *Management Science*, Vol. 50, No. 12, pp. 1875-1886.

Lockamy III, A; McCormack K, (2009). Examining Operational Risks in Supply Chains. *Supply Chain Forum*. Vol 10, No 1.

Mandal, S (2011) Supply Chain Risk Identification and Elimination: A Theoretical Perspective. *The IUP Journal of Supply Chain Management*, Vol. VIII, No. 1.

Mohd. Nishat Faisal ; D. K. Banwet ; Ravi Shankar, (2007). Management of Risk in Supply Chains: SCOR Approach and Analytic Network Process. *Supply Chain Forum*. Vol 8, No 2.

Neureuther, B; Kenyon, G, (2009). Mitigating Supply Chain Vulnerability, *Journal of Marketing Channels*, Vol 16, pp. 245–263.

Oehmen, J; Ziegenbein , A; Alard , R; Schonsleben, P. (2009). System-oriented supply chain risk management. *Production Planning & Control*. Vol. 20, No. 4, June 2009, 343–361.

Serna, L. (2006). Factores para el diseño de estrategias que integren la gestión de las relaciones con el cliente (CM) y la administración de la cadena de suministro (SCM) en las grandes empresas del sector productivo y de servicios de la ciudad de Manizales. Universidad Nacional de Colombia. Pág. (1-162)

9. ANEXOS

Anexo 1: Tablas de Motivos de Paro por Centros de Trabajo

CT 1					
MOTIVO DE PARO	2008	2009	2010	2011	Total general
ADECUACION EQUIPO DE RECUBRIMIENTO	10,98	15,33	24,00	11,03	61,33
AFILAR BURIL	31,15	17,90	6,64	0,83	56,51
CAMBIO DE CANASTA	7,30	5,71	2,90	3,70	19,61
CAMBIO DE SIERRA	14,63	12,23	11,84	10,18	48,86
DAÑO EN RODAMIENTO	19,58	21,56	25,10	21,94	88,18
DESCARRILE DE LAMINA	12,25	6,54	12,70	8,81	40,30
EJE PARTIDO	3,50	0,00	0,38	4,36	8,24
FALTA MATERIAL	37,98	91,19	22,01	14,20	165,38
FLEJE MAL CORTADO	1,19	1,08	0,48	0,51	3,25
ALISTAMIENTO MATERIA PRIMA	0,50	4,10	1,31	0,76	6,68
LÁMINA NO ADECUADA	0,69	0,00	0,38	0,00	1,06

CT 2					
MOTIVO DE PARO	2008	2009	2010	2011	Total general
BOMBA DE AGUA	3,25	1,83	7,19	21,40	33,66
CAMBIO DE BOBINA	157,74	133,76	158,24	158,14	607,88
CAMBIOS EJES BOTELLAS (OTO)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DAÑOS FLOOP (OTO)	0,44	0,00	0,00	0,00	0,44
FALLA CARRO PORTACANASTA (OTO)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FALLA COMPRESOR	4,31	0,25	0,00	0,31	4,88
FALLA DISPOSITIVO DE PRUEBAS DE DESTRUCCION	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FALLA EN LOS NIVELES DEL AGUA	2,49	4,55	1,28	23,36	31,68
FALLA PUENTE GRUA MESA (OTO)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FALLAS BRAZO SOLDADOR	1,74	4,63	0,31	9,48	16,15
FALTA ACEITE	6,30	7,50	1,69	3,78	19,26
FALTA BARRA EQUIPO DESBARBADOR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FALTA DISPOSITIVO MANP. MORDAZA CORTADORA	0,00	0,00	0,00	0,89	0,89
FALTA EXISTENCIA RODAMIENTOS	0,00	3,00	1,25	1,50	5,75
FALTA SIERRA	0,15	0,56	0,00	0,09	0,80
PROBLEMAS CABEZA DE TURCO	6,76	7,50	6,35	15,60	36,21
PROBLEMAS CALIBRADORA	10,31	30,08	8,40	33,06	81,85
PROBLEMAS CORTADORA	63,65	77,68	85,56	71,68	298,56
PROBLEMAS DE SOLDADURA	24,93	3,68	0,86	32,68	62,14
PROBLEMAS FLOOP (OTO)	0,00	0,00	0,00	1,50	1,50
PROBLEMAS FORMADORA	10,78	4,44	6,13	0,56	21,90
PROBLEMAS INTERCAMBIADOR	0,19	2,16	0,75	9,58	12,68
PROBLEMAS MESA COMPRESION	32,89	13,85	44,80	40,14	131,68
REVENTO PEGA	5,81	12,20	22,23	22,49	62,73
RODILLOS NO CONFORMES	12,25	10,63	10,95	13,78	47,60
TUBO ENREDADO EN LA CORTADORA	7,13	11,24	13,15	13,20	44,71
TUBO ENREDADO DUCHA	1,04	2,39	0,00	0,00	3,43
FALTA DE ENERGIA	3,99	4,33	2,20	4,93	15,44
FALTA PERSONAL	10,19	21,86	8,31	3,24	43,60

CT 3					
MOTIVO DE PARO	2008	2009	2010	2011	Total general
FALLA COMPRESOR	6,01	0,19	0,00	0,00	6,20
FALLA DISPOSITIVO DE PRUEBAS DE DESTRUCCION	0,61	0,00	0,00	0,00	0,61
FALLA EN LOS NIVELES DEL AGUA	8,53	9,71	15,91	14,13	48,28
FALLAS BRAZO SOLDADOR	50,14	61,33	96,26	37,31	245,04
FALTA ACEITE	3,86	1,33	1,06	0,63	6,88
FALTA BARRA EQUIPO DESBARBADOR	12,36	0,00	0,00	0,00	12,36
FALTA DISPOSITIVO MANP. MORDAZA CORTADORA	4,10	14,21	4,01	3,18	25,50
FALTA EXISTENCIA RODAMIENTOS	0,13	0,00	0,00	0,00	0,13
FALTA SIERRA	2,13	3,26	1,48	9,13	15,99
PROBLEMAS CABEZA DE TURCO	13,79	12,88	9,81	5,15	41,63
PROBLEMAS CALIBRADORA	0,76	4,05	5,99	3,99	14,79
PROBLEMAS CORTADORA	31,29	31,20	23,34	70,85	156,68
PROBLEMAS DE SOLDADURA	1,00	1,93	5,75	0,00	8,68
PROBLEMAS ENRROLLADOR (MEP)	0,34	0,55	0,00	0,44	1,33
PROBLEMAS FORMADORA	12,80	1,63	0,59	1,56	16,58
PROBLEMAS INTERCAMBIADOR	7,25	15,84	6,46	6,46	36,01
PROBLEMAS MESA COMPRESION	138,03	129,33	200,83	163,44	631,61
REVENTO PEGA	3,65	12,10	17,01	8,83	41,59
RODILLOS NO CONFORMES	16,83	0,75	9,94	0,00	27,51
TUBO ENREDADO EN LA CORTADORA	0,68	1,55	3,63	3,59	9,44
TUBO ENREDADO DUCHA	6,73	9,86	6,84	10,74	34,16
FALTA DE ENERGIA	3,14	4,43	2,73	4,49	14,78
FALTA PERSONAL	7,06	8,81	3,19	2,71	21,78

ALMC 1					
MOTIVO DE PARO	2008	2009	2010	2011	Total general
FALLA PUENTE GRUA DE DESPACHOS	0,25	0,94	0,00	0,65	1,84
PUENTE GRUA OCUPADO	2,03	0,00	0,70	0,00	2,73
ALMC 2					
MOTIVO DE PARO	2008	2009	2010	2011	Total general
PROBLEMAS EMPAQUETADORA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SE LLENO LA MESA	0,00	0,00	0,19	0,00	0,19
SENSOR DE DESCARGUE	2,90	5,04	1,69	1,84	11,46
PROGRAMACION EMPAQUETADORA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Los motivos de paro están medidos en horas de trabajo

Anexo 1: Costos asociados a los centros de trabajo 1, 2 y 3.

Auxiliar Desc. auxiliar	2008	2009	2010	2011
CENTRO DE TRABAJO 1				
7205-GASTOS DE PERSONAL	\$122.359.989	\$129.198.005	\$129.104.080	\$143.731.253
7420-ARRENDAMIENTOS	\$30.926.225	\$30.665.816	\$32.296.944	\$32.296.944
7430-SEGUROS	\$12.268.865	\$21.920.140	\$33.551.488	\$48.300.634
CENTRO DE TRABAJO 2	\$165.555.079	\$181.783.961	\$194.952.513	\$224.328.831
7205-GASTOS DE PERSONAL	\$300.824.573	\$203.645.607	\$242.137.321	\$339.643.793
7420-ARRENDAMIENTOS	\$61.418.102	\$61.600.684	\$64.898.927	\$67.510.342
7430-SEGUROS	\$5.016.632	\$8.143.998	\$11.694.161	\$16.234.656
CENTRO DE TRABAJO 3	\$367.259.308	\$273.390.289	\$318.730.409	\$423.388.791
7205-GASTOS DE PERSONAL	\$607.569.660	\$500.590.865	\$554.405.323	\$580.222.120
7420-ARRENDAMIENTOS	\$83.456.502	\$82.489.161	\$87.104.493	\$87.264.400
7430-SEGUROS	\$86.852.950	\$157.798.575	\$239.109.031	\$340.093.594
	\$777.879.112	\$740.878.601	\$880.618.847	\$1.007.580.114

Costo por hora de trabajo	2008	2009	2010	2011
CT 1	43113,30184	47339,57309	50768,88346	58418,96641
CT 2	95640,44468	71195,38769	83002,71077	110257,4978
CT 3	202572,6853	192937,1357	229327,8248	262390,6548

Costo x hora de trabajo perdida	2008	2009	2010	2011
CT 1	5972809,054	8314012,523	5469077,971	4433269,313
CT 2	35034290,39	25494178,39	31510941,61	54194316,59
CT 3	79504714,68	64255301,33	96635878,79	96913988,34

Ct x hr de trabajo perdida/Ct total	2008	2009	2010	2011
CT 1	3,61%	4,57%	2,81%	1,98%
CT 2	9,54%	9,33%	9,89%	12,80%
CT 3	10,22%	8,67%	10,97%	9,62%

Los costos están medidos en millones de pesos colombianos.

Anexo 2: Datos para gráficos Pareto Año 2009

Centro de Trabajo 1

X	Y	Y %	Y ACUM	Y ACUM %
FALTA MATERIAL	91,19	51,92%	91,19	52%
DAÑO EN RODAMIENTO	21,56	12,28%	112,75	64%
AFILAR BURIL	17,90	10,19%	130,65	74%
ADECUACION EQUIPO DE RECUBRIMIENTO	15,33	8,73%	145,98	83%
CAMBIO DE SIERRA	12,23	6,96%	158,20	90%
DESCARRILE DE LAMINA	6,54	3,72%	164,74	94%
CAMBIO DE CANASTA	5,71	3,25%	170,45	97%
ALISTAMIENTO MP	4,10	2,33%	174,55	99%
FLEJE MAL CORTADO	1,08	0,61%	175,63	100%
EJE PARTIDO	0,00	0,00%	175,63	100%
LÁMINA NO ADECUADA	0,00	0,00%	175,63	100%

Centro de Trabajo 2

	2009	Y%	Y ACUM.	Y ACUM %
CAMBIO DE BOBINA	133,76	37,35%	133,76	37,35%
PROBLEMAS CORTADORA	77,68	21,69%	211,44	59,05%
PROBLEMAS CALIBRADORA	30,08	8,40%	241,51	67,45%
FALTA PERSONAL	21,86	6,11%	263,38	73,55%
PROBLEMAS MESA COMPRESION	13,85	3,87%	277,23	77,42%
REVENTO PEGA	12,20	3,41%	289,43	80,83%
TUBO ENREDADO EN LA CORTADORA	11,24	3,14%	300,66	83,96%
RODILLOS NO CONFORMES	10,63	2,97%	311,29	86,93%
FALTA ACEITE	7,50	2,09%	318,79	89,03%
PROBLEMAS CAB TURCO	7,50	2,09%	326,29	91,12%
FALLAS BRAZO SOLDADOR	4,63	1,29%	330,91	92,41%
FALLA EN LOS NIVELES DEL AGUA	4,55	1,27%	335,46	93,68%
PROBLEMAS FORMADORA	4,44	1,24%	339,90	94,92%
FALTA DE ENERGIA	4,33	1,21%	344,23	96,13%
PROBLEMAS DE SOLDADURA	3,68	1,03%	347,90	97,16%
FALTA EXISTENCIA RODAMIENTOS	3,00	0,84%	350,90	97,99%
TUBO ENREDADO DUCHA	2,39	0,67%	353,29	98,66%
PROBLEMAS INTERCAMBIADOR	2,16	0,60%	355,45	99,26%
BOMBA DE AGUA	1,83	0,51%	357,28	99,77%
FALTA SIERRA	0,56	0,16%	357,84	99,93%
FALLA COMPRESOR	0,25	0,07%	358,09	100,00%
CAMBIOS EJES BOTELLAS (OTO)	0,00	0,00%	358,09	100,00%
DAÑOS FLOOP (OTO)	0,00	0,00%	358,09	100,00%
FALLA CARRO PORTACANASTA (OTO)	0,00	0,00%	358,09	100,00%
FALLA DISPOSITIVO DE PRUEBAS DE DESTRUCCION	0,00	0,00%	358,09	100,00%
FALLA PUENTE GRUA MESA (OTO)	0,00	0,00%	358,09	100,00%
FALTA BARRA EQUIPO DESBARBADOR	0,00	0,00%	358,09	100,00%
FALTA DISPOSITIVO MANP. MORDAZA CORTADORA	0,00	0,00%	358,09	100,00%
PROBLEMAS FLOOP (OTO)	0,00	0,00%	358,09	100,00%

Centro de Trabajo 3

CT3	2009	Y %	Y ACUM	Y %
PROBLEMAS MESA COMPRESION	129,33	20,17%	129,33	20,17%
FALLAS BRAZO SOLDADOR	61,33	9,57%	190,65	29,74%
CAMBIO DE CANASTA	60,41	9,42%	251,06	39,17%
FALTA MATERIAL	57,06	8,90%	308,13	48,07%
ADECUACION EQUIPO DE RECUBRIMIENTO	54,86	8,56%	362,99	56,63%
ALISTAMIENTO MATERIA PRIMA	41,14	6,42%	404,13	63,04%
PROBLEMAS CORTADORA	31,20	4,87%	435,33	67,91%
CAMBIO DE SIERRA	17,48	2,73%	452,80	70,64%
DESCARRILE DE LAMINA	16,80	2,62%	469,60	73,26%
PROBLEMAS EMPAQUETADORA	16,46	2,57%	486,06	75,82%
PROBLEMAS INTERCAMBIADOR	15,84	2,47%	501,90	78,29%
FALTA DISPOSITIVO MANP. MORDAZA CORTADORA	14,21	2,22%	516,11	80,51%
PROBLEMAS CABEZA DE TURCO	12,88	2,01%	528,99	82,52%
REVENTO PEGA	12,10	1,89%	541,09	84,41%
AFILAR BURIL	10,99	1,71%	552,08	86,12%
PROGRAMACION EMPAQUETADORA	9,96	1,55%	562,04	87,68%
TUBO ENREDADO DUCHA	9,86	1,54%	571,90	89,21%
FALLA EN LOS NIVELES DEL AGUA	9,71	1,52%	581,61	90,73%
FALTA PERSONAL	8,81	1,37%	590,43	92,10%
BOMBA DE AGUA	8,00	1,25%	598,43	93,35%
DAÑO EN RODAMIENTO	7,50	1,17%	605,93	94,52%
FALLA PUENTE GRUA DE DESPACHOS	7,44	1,16%	613,36	95,68%
FALTA DE ENERGIA	4,43	0,69%	617,79	96,37%
PROBLEMAS CALIBRADORA	4,05	0,63%	621,84	97,00%
SE LLENÓ LA MESA	3,31	0,52%	625,15	97,52%
FALTA SIERRA	3,26	0,51%	628,41	98,03%
SENSOR DE DESCARGUE	3,24	0,51%	631,65	98,54%
PROBLEMAS DE SOLDADURA	1,93	0,30%	633,58	98,84%
PROBLEMAS FORMADORA	1,63	0,25%	635,20	99,09%
TUBO ENREDADO EN LA CORTADORA	1,55	0,24%	636,75	99,33%
LAMINA NO ADECUADA	1,35	0,21%	638,10	99,54%
FALTA ACEITE	1,33	0,21%	639,43	99,75%
RODILLOS NO CONFORMES	0,75	0,12%	640,18	99,87%
PROBLEMAS ENRROLLADOR (MEP)	0,55	0,09%	640,73	99,95%
FALLA COMPRESOR	0,19	0,03%	640,91	99,98%
CAMBIO DE BOBINA	0,13	0,02%	641,04	100,00%
DAÑOS ENRROLLADOR (MEP)	0,00	0,00%	641,04	100,00%
EJE PARTIDO	0,00	0,00%	641,04	100,00%
FALLA DISPOSITIVO DE PRUEBAS DE DESTRUCCION	0,00	0,00%	641,04	100,00%
FALTA BARRA EQUIPO DESBARBADOR	0,00	0,00%	641,04	100,00%
FALTA EXISTENCIA RODAMIENTOS	0,00	0,00%	641,04	100,00%
FLEJE MAL CORTADO	0,00	0,00%	641,04	100,00%
PUENTE GRUA OCUPADO	0,00	0,00%	641,04	100,00%