

**MODELO DE SIMULACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE  
TECNOLOGÍA RFID EN LA INDUSTRIA DE CEMENTOS**



**Presentado por  
OLGA CECILIA BERNAL  
9500473**

**Tutor  
Msc. MILTON MAURICIO HERRERA**

**ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA EN LOGÍSTICA INTEGRAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
BOGOTÁ  
2015**

# MODELO DE SIMULACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA RFID EN LA INDUSTRIA DE CEMENTOS

## SIMULATION MODEL FOR THE ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF RFID TECHNOLOGY INDUSTRY OF CEMENT

Olga Bernal Medina  
Ingeniera de producción  
Universidad Militar Nueva Granada  
Bogotá - Colombia  
olgacbernal@gmail.com

### RESUMEN

Las operaciones logísticas asociadas al despacho y distribución de productos terminados en la industria del cemento requieren de sistemas de control y tecnologías de trazabilidad que permitan cumplir los requerimientos del cliente. El artículo presenta las bondades de la implementación de tecnología RFID para la industria del cemento. Se desarrolló un modelo de simulación con dinámica de sistemas que muestra el comportamiento del flujo de material en la industria de cementos. Los resultados del modelo muestran el efecto de implementación de tecnología de trazabilidad en los inventarios y una disminución del tiempo de las operaciones logísticas de despacho así como el control y registro de toda la operación.

**Palabras clave:** Tecnología RFID, Trazabilidad, Dinámica de Sistemas, Industria de Cementos, Simulación

### ABSTRACT

The logistical operations associated with shipping and distribution of finished cement industry products require control systems and traceability technologies that would meet customer requirements. The article presents the benefits of implementing RFID technology for the cement industry. A simulation model was developed with system dynamics showing the flow behavior of material in cement industry. The model results show the effect of implementation of traceability technology in inventories and a decrease in time of dispatch logistics operations as well as the monitoring and recording of the entire operation.

**Keyword:** RFID Technology, Traceability, System Dynamics, Cement Industry, Simulation.

## **INTRODUCCIÓN**

Actualmente las industrias deben desarrollar herramientas en la toma de decisiones con respecto a sus operaciones logísticas, para enfrentar los retos de un mercado globalizado y competitivo el cual exige el cumplimiento de los requerimientos del cliente en el menor tiempo, maximizando la creación de valor dentro de la cadena de abastecimiento.

En este artículo se plantea un modelo para el sistema de control y optimización de tiempos en las operaciones logísticas asociadas al despacho y abastecimiento de producto terminado dentro de una planta de cemento, con la implementación de tecnología RFID y otros componentes de automatización.

Se evalúo la implementación de tecnología RFID en el proceso de despacho a través de la variación de los tiempos de cada operación con un modelo de simulación de dinámica de sistemas. La implementación de tecnología RFID evita los errores que se generan en un registro manual de las operaciones. Las tecnologías de trazabilidad garantizan que los datos de pesaje y registro de horas de las operaciones se actualice de forma automática en la plataforma logística.

A partir de esta solución tecnológica, se obtienen diversos beneficios que sirven de ejemplo para otras compañías del sector de cementos ya que a través de esta propuesta se obtiene una mayor eficiencia de los muelles y silos de cargue los cuales permitirán el despacho de un mayor número de vehículos de carga por turno, además de la disminución de tiempos muertos dentro del proceso ya que se omite la actividad de entornamiento. Otra de las ventajas de esta tecnología es que permite al cliente no solo contar con su producto en un menor tiempo sino que en caso de requerirlo contara con una información detallada en tiempo real del estado de su pedido.

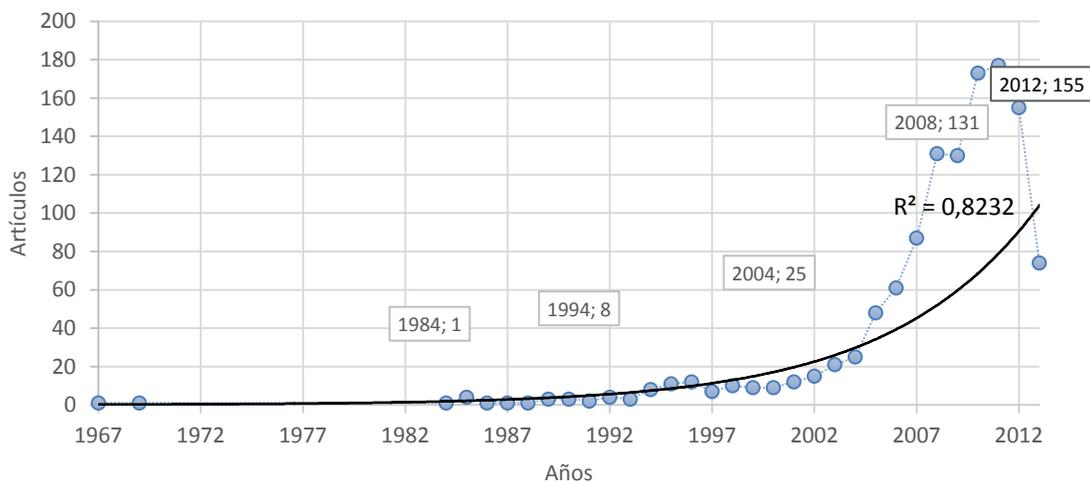
El artículo se divide en cuatro secciones. La primera presenta los antecedentes de implementación de tecnología RFID. Seguidamente, se muestra la metodología de implementación propuesta para la industria de cementos. La tercera sección presenta la sistematización del modelo de simulación de dinámica de sistemas. Finalmente, se presentan los resultados y conclusiones.

### **1. ANTECEDENTES**

Los estudios realizados sobre trazabilidad en la industria y en la cadena de suministro propuestos por Moe T. [1] presentan la perspectiva e importancia en la industria alimenticia del concepto de trazabilidad. La International Organization for Standardization [2] define la trazabilidad como aquellos procedimientos autosuficientes que permiten conocer el histórico, la ubicación y la ruta de un producto o lote de productos a lo largo de la cadena de suministros en un momento

dado, a través de herramientas y/o técnicas determinadas. En este contexto, el concepto de trazabilidad se establece como la integración entre el flujo de información y el flujo de producto que permite realizar el seguimiento y control a cada una de las etapas del proceso.

Se puede identificar en la Figura 1 que la primera publicación de tecnología de trazabilidad se realizó en 1967 y que estas han tenido un comportamiento creciente, sin embargo desde el período de 2008 se registran 131 publicaciones y para el 2012 se cuentan con 155 publicaciones que representan un incremento del 14%, bajo en comparación con los períodos del 2004 al 2008 que presentan un incremento del 81%. Si bien se han realizado desarrollos importantes en trazabilidad y el crecimiento de tecnologías RFID es creciente, los estudios en esta apuntan a la implementación o gestión de este tipo de tecnologías en las compañías.



**Figura 2.** Tendencia histórica de publicaciones en la temática “Traceability” y “Technology” período 1967-2013.

**Fuente.** Autores a partir de Scopus.

A partir de esta perspectiva conceptual y de la importancia de generar modelos de trazabilidad y optimización dentro de la cadena de suministro, se plantean soluciones que permitan a la industria llevar el registro y control de cada una de las etapas del proceso. A partir de este punto, se toma la decisión de evaluar tecnologías tales como la identificación por radiofrecuencia, más conocida como tecnología RFID, la cual se ha tomado como una aplicación importante en las operaciones tanto de logística como de la cadena de suministro, como lo plantea Royoa. et al [3], donde plasma varios ejemplos de la utilización de este tipo de tecnologías. Mingxiu [4] realiza un análisis de la aplicación de RFID en la logística de terceros. El estudio de Prasanna et al [5] evaluó la utilidad de la tecnología RFID en el equilibrio de la carga en los camiones. A partir de este análisis de las diferentes aplicaciones de RFID, Royoa. et al [6], desarrolla el estado del arte sobre los beneficios de adoptar este tipo de tecnología a nivel mundial, en los entornos logísticos especialmente en lo referente a trazabilidad. Por otra parte, Herrera, et al [7], realiza un análisis detallado de las publicaciones enfocadas en tecnologías de trazabilidad y optimización de

procesos de trazabilidad a través de métodos cuantitativos. En esta medida, se encuentran una serie de investigaciones alrededor de las aplicaciones de la tecnología RFID en la cadena de suministro donde se evidencia la efectividad y eficiencia de esta herramienta tecnológica de trazabilidad. Según Bendavid [8], el impacto causado por la tecnología RFID en la cadena de suministro ha permitido el rastreo, identificación y gestión de cada producto con mayor flexibilidad y confiabilidad en tiempo real.

Las aplicaciones de la tecnología RFID en los procesos de gestión de la cadena de suministros según Sabbaghi y Vaidyanathan [9] se pueden dar en la gestión de la demanda, ordenes de pedidos, gestión del flujo en manufactura y gestión del retorno (logística reversa). La implementación de un sistema RFID en determinada cadena de suministro requiere de la integración de otros sistemas tecnológicos que soporten las operaciones productivas, con el propósito de tomar decisiones estratégicas de negocio. La importancia de los sistemas tecnológicos de trazabilidad RFID en la cadena de suministro marca diferencias estratégicas que proporcionan valor a lo largo del flujo del producto según Canavari [10], Sabbaghi y Vaidyanathan [9] y Bendavid [8].

Según Jones [11] el incremento en el uso de la tecnología RFID ha sido significativo en países como Estados Unidos, Italia, Francia, Portugal y Noruega demostrando aplicaciones en el control nuclear, de inventarios, la trazabilidad de los vuelos aéreos, en manufactura etc. El uso de este tipo de tecnología sirve como herramienta en la cadena de suministro para realizar la trazabilidad a un bajo costo debido a que el incremento potencial de dicha tecnología refleja la disminución de los costos de adquisición en el mercado de los sistemas RFID.

A continuación, se desarrolla la metodología de implementación propuesta para la arquitectura del sistema, operación de despacho y el diagrama causal del modelo de simulación.

## **2. METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN**

### **2.1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA**

En la arquitectura se puede apreciar la disposición e interconexión de los diferentes equipos que integran el sistema de control propuesto (Figura 2). El controlador central o PLC es el encargado de recibir todas las señales de campo y activar las señales de control. La lógica de control estará comandada desde un PC fanless donde se ejecutara la aplicación de control que estará en línea con el sistema logístico.

Los carriles de acceso y salida tendrán una talanquera que permite controlar el flujo vehicular, a su vez se instalaran un display y un equipo para lectura RFID el cual identificara el tag de cada vehículo y determinara si tiene o no acceso permitido. Una

vez el vehículo sea identificado adecuadamente mediante el display de mensaje variable se le enviara la información correspondiente al conductor

En las básculas, adicional a los equipos descritos anteriormente se colocara un semáforo a la entrada de la misma, para indicar al conductor el momento de ingresar a esta. El peso que calcule la báscula se enlazara automáticamente al vehículo identificado mediante RFID, evitando de esta manera que ingresar la placa y el peso manualmente por parte del operador.

En el caso de presentar problemas las básculas y los carriles cuando no se encuentran atendidos disponen de comunicación a través de telefonía IP para comunicarse. Todos estos equipos se interconectaran a la red de comunicaciones por lo que su control y diagnostico es posible de manera remota desde la central de control.

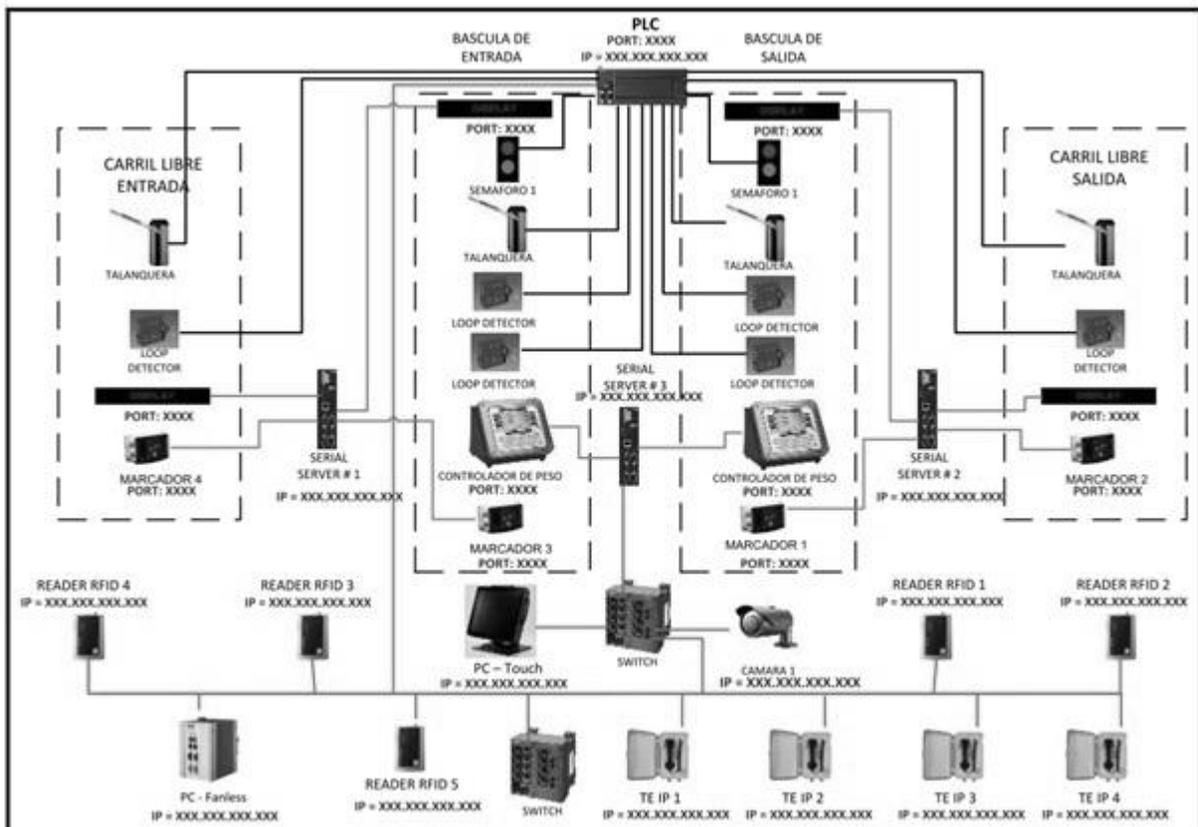


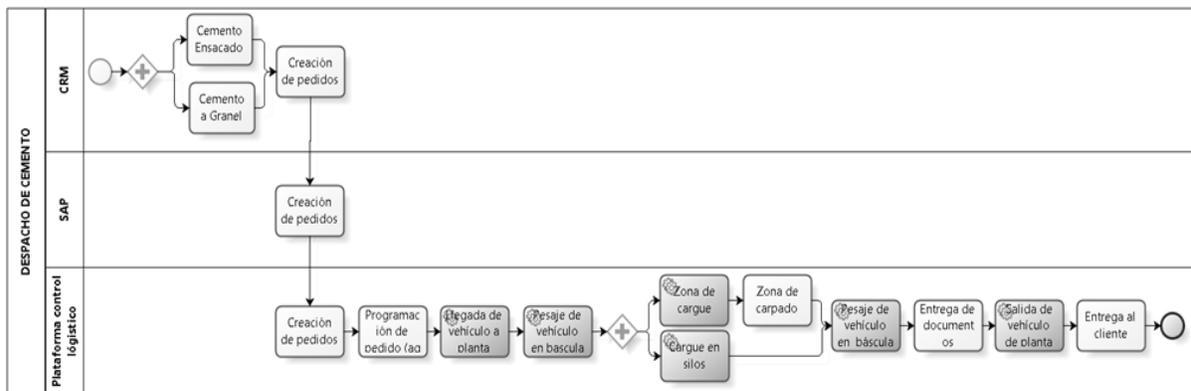
Figura 2. Arquitectura del sistema  
Fuente. Autor. 2015.

## 2.2. OPERACIÓN DE DESPACHO DE UNA CEMENTERA

La propuesta de implementación de tecnología RFID y otros componentes de automatización dentro del proceso de despacho de producto terminado en una empresa de cementos, busca la optimización de tiempos en los procesos logísticos

de despacho y abastecimiento de producto terminado, mediante la implementación e integración de esta tecnología con la plataforma de información logística de la empresa.

Para esto se definieron los puntos críticos dentro de la operación de despacho, en la cual se ha evidenciado que se presentan demoras y las cuales deben ser automatizadas para garantizar un flujo constante del producto. La Figura 3 muestra el flujo del proceso de despacho.

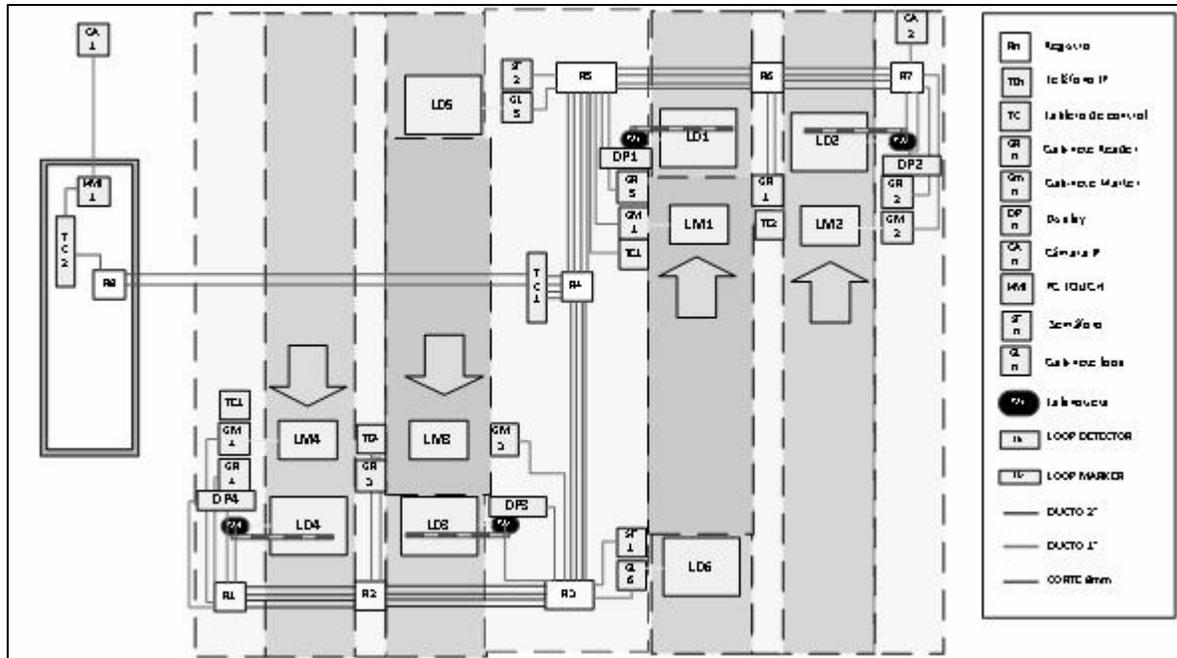


**Figura 3.** Diagrama de flujo del proceso de despacho  
**Fuente.** Autor. 2015

En el diagrama de flujo se encuentra identificado, los puntos logísticos donde se debe realizar la implementación de tecnología RFID. A continuación se encuentra el detalle de la operación de cada uno de estos puntos:

### 2.2.1 Llegada del vehículo a planta

El vehículo inicia su proceso dentro de la planta con la llegada a la portería. En este punto, a través de la información del vehículo registrada en el TAG, se verifica automáticamente en la plataforma de información logística las actividades programadas para esa placa. El conductor cuya placa tenga pedidos programados, será notificado a través de un display que debe dirigirse a la báscula y en la vía se levantara la talanquera indicándole que debe seguir el tránsito. En este punto se realiza la primera toma de tiempos para control. La Figura 4 presenta la distribución de equipos dentro de este punto logístico.



**Figura 4.** Layout porterías  
Fuente. Autor. 2015

## 2.2.2 Báscula de entrada

La segunda instancia de seguimiento a través de RFID dentro del proceso, corresponde al pesaje en báscula. En este punto se realiza la toma del peso (tara) del vehículo, es decir del vehículo vacío y se registra el peso en el sistema de información. Posterior se informa a través de un display el muelle o silo al cual debe dirigirse a cargar y se toma el tiempo transcurrido en el pesaje de la báscula.

## 2.2.3 Cargue

Actualmente se despacha el producto terminado en dos presentaciones: Cemento ensacado en sacos de 25 Kg y 50 Kg y Cemento a granel, que se encuentra dispuesto en silos donde posterior será descargado de acuerdo a las toneladas programadas en los vehículos especiales para este tipo de producto. En esta operación es clave la lectura a través de RFID ya que es aquí donde se registran los mayores tiempos dentro del proceso de despacho. En el momento en que el vehículo sea leído a través de la antena, se actualizará la hora inicio de cargue y se tomara el tiempo transcurrido hasta que el vehículo sale del muelle o del silo.

#### **2.2.4 Báscula de salida**

Luego de que el vehículo se retira de la zona de cargue se indica a través de un display que debe dirigirse a la báscula para ser nuevamente pesado y así registrar el peso bruto, es decir el vehículo cargado con el producto terminado.

De igual forma cuando el vehículo ingresa a esta zona, se realiza la lectura RFID y se toman no solo los pesos sino el tiempo transcurrido en la zona de pesaje. Al finalizar esta operación el sistema envía la señal al display para que emita el mensaje que se debe dirigir a la portería de salida y se levanta la talanquera como señal visual para continuar.

#### **2.2.5 Salida de vehículo de planta**

A través de la lectura del TAG, automáticamente el sistema validara que el vehículo no tenga operaciones pendientes y en caso de tenerlas le indicara en el display que operación se encuentra pendiente y no le permitirá salir ya que la barrera no se levantara y deberá completar el proceso antes de retirarse de la planta.

Si al validar el TAG se encuentra que este ya cumplió con las actividades programadas, el auxiliar procede a entregarle los documentos de transporte que fueron generados por el sistema al conductor y este a su vez se retirara de planta.

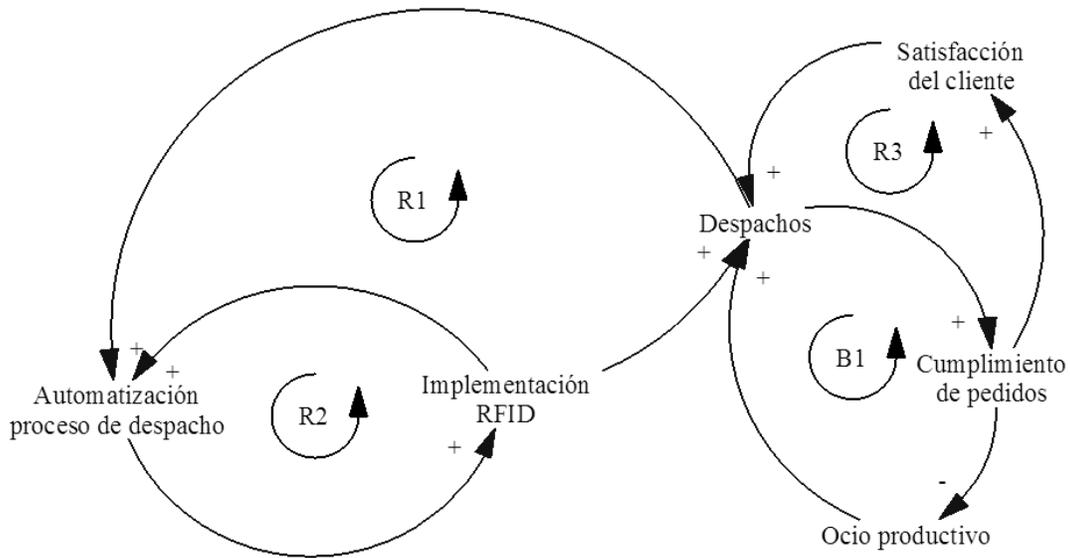
En este momento se ha completado el ciclo de despacho en planta y se cuenta con el registro de tiempo de cada nodo del proceso y el tiempo total de duración del ciclo de despacho.

### **2.3 DIAGRAMA CAUSAL**

Para el planteamiento de este diagrama causal se tomó como base la metodología planteada por Sterman [12], a partir del diagnóstico de la operación de despachos y las alternativas a evaluar para su mejoramiento. El modelamiento causal se realizó tomando el diagnóstico de la operación de despacho de una empresa de cemento como se detalla a continuación:

- Definición del problema
- Identificación de variables claves
- Desarrollo del diagrama causal a través del modelo de referencia (revisión literaria y observaciones)
- Especificación del alcance del diagrama.

En la Figura 5 se encuentra el planteamiento del diagrama causal y la definición conceptual de los báculos de realimentación.



**Figura 5.** Diagrama Causal  
**Fuente.** Autor. 2015.

R1: Presenta el ciclo de refuerzo de despachos, en el cual se evalúa el impacto positivo hacia el proceso de despacho, a partir de automatización del sistema tomando como base para este entorno logístico, la implementación de tecnología RFID que no solo contribuirá a establecer los tiempos estándar de cada una de las etapas, sino el registro y control de ellas.

R2: Presenta el ciclo de refuerzo de la implementación de nuevas tecnologías, a partir del cual se busca el desarrollo de herramientas que permitan no solo la automatización del despacho, sino el registro y control de cada una de las etapas dentro de la trazabilidad del sistema.

B1: Presenta el ciclo de balance de resultados a partir del cual se evidencia un impacto negativo sobre el ocio productivo contribuyendo al crecimiento en la tasa de despachos y por ende en el cumplimiento de los pedidos cliente dentro de los tiempos establecidos en el compromiso de entrega.

R3: Presenta el ciclo de refuerzo postventa con el cual se espera un crecimiento representativo en lo referente a satisfacción al cliente, el cual se genera a partir del cumplimiento de los pedidos en los tiempos establecidos y por consiguiente un aumento en el número de despachos el cual es directamente proporcional al aumento de la tasa de consumo.

### 3. SISTEMATIZACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

#### 3.1. DATOS DE ENTRADA

Este sistema busca la optimización del proceso de despacho de producto terminado tanto para cemento ensacado como para cemento a granel. Para evaluar el rendimiento del sistema propuesto, se realizó el cálculo de los tiempos de la operación actual y los tiempos del nuevo sistema, como se observa en las Tablas 1 y 2. Estos datos se utilizan como insumo para el sistema de simulación con dinámica de sistemas.

Tabla 1. Tiempo de despacho cemento a granel

		SISTEMA ACTUAL	SISTEMA RFID
GRANEL	Llegada de vehículo a planta	10	0,5
	Enturnamiento	60	0
	Pesaje de vehículo en báscula	5	2
	Cargue en silo	45	25
	Pesaje de vehículo en báscula	5	2
	Entrega de documentos	10	1
	Salida de vehículo de planta	10	0,5
<b>TIEMPO TOTAL (Min)</b>		145	31

Fuente. Autor. 2015

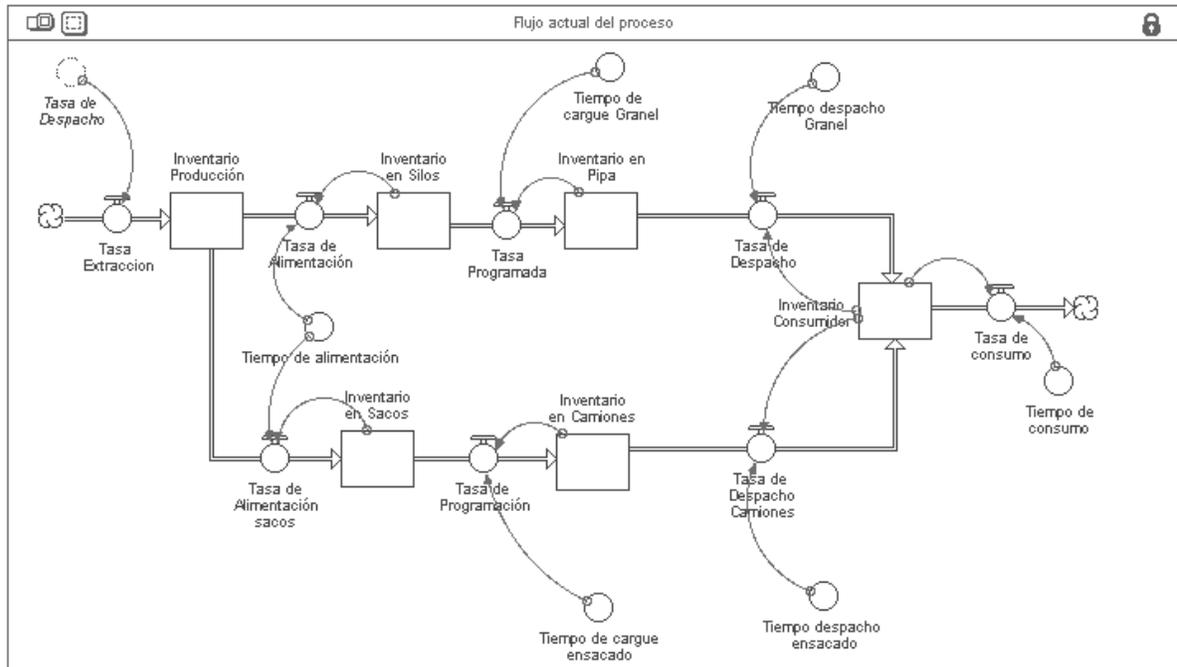
Tabla 2. Tiempos de despacho cemento ensacado

		SISTEMA ACTUAL	SISTEMA RFID
ENSACADO	Llegada de vehículo a planta	10	0,5
	Enturnamiento	60	0
	Pesaje de vehículo en báscula	5	2
	Cargue en muelle	50	25
	Pesaje de vehículo en báscula	5	2
	Entrega de documentos	10	1
	Salida de vehículo de planta	10	0,5
<b>TIEMPO TOTAL (Min)</b>		150	31

Fuente. Autor. 2015.

### 3.2. MODELO DE SIMULACIÓN-DINÁMICA DE SISTEMAS

Se diseñó una estructura de simulación con la metodología de dinámica de sistemas. La estructura representa el flujo de material actual del proceso regulado por los tiempos donde se realizara la implementación propuesta de acuerdo a la arquitectura del sistema para la industria de cementos. La Figura 6 muestra el diagrama Forrester del sistema simulado. El sistema está compuesto por los inventarios generados para los dos presentaciones del producto (granel y sacos).



**Figura 6.** Diagrama Forrester- Simulación sistema actual de operación.

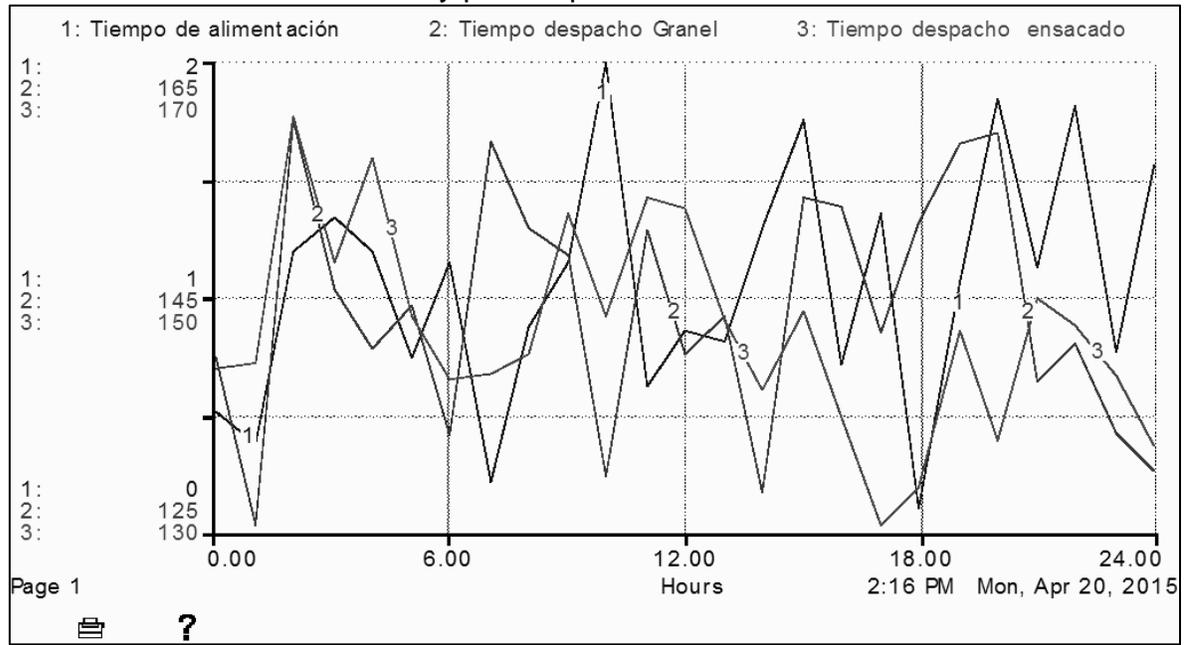
**Fuente.** Autor.2015

En el caso del sistema propuesta se realizó una estructura de simulación igual que tiene como fin comparar el sistema actual y el sistema con tecnología RFID.

En el siguiente apartado se muestran los resultados de la simulación y el análisis de la decisión de implementación de la tecnología RFID en la industria de cemento.

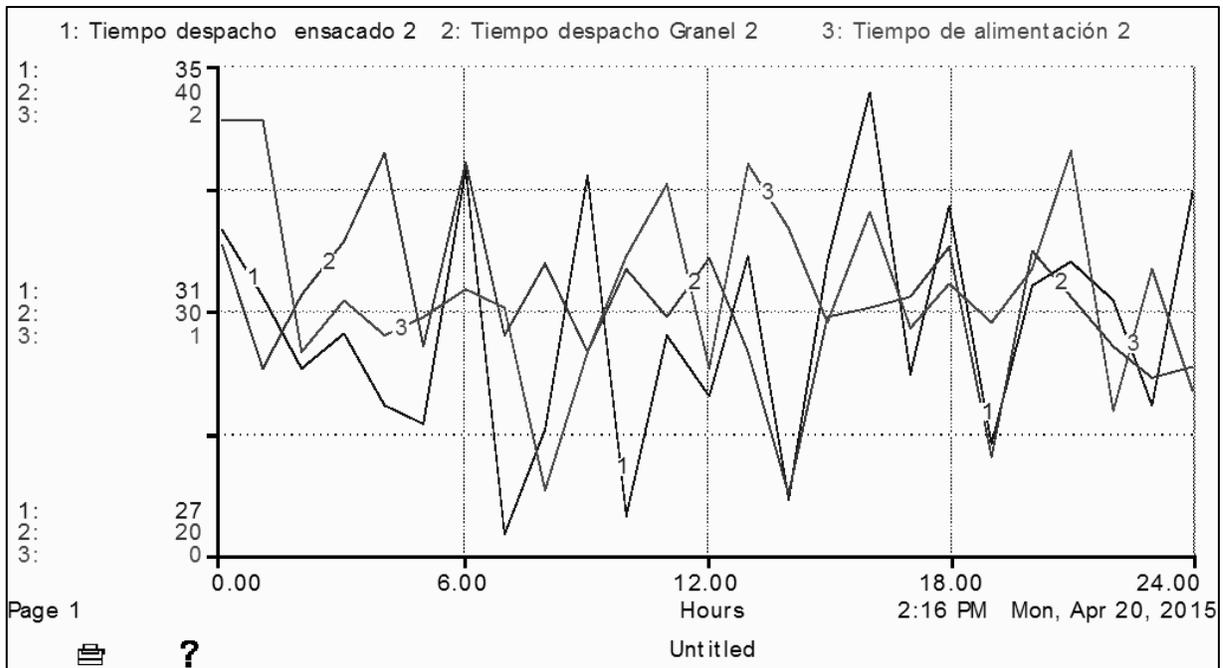
## 4. RESULTADOS

Los resultados del sistema de simulación se evaluaron de acuerdo a la estructura del diagrama Forrester. La Figura 7 muestra los tiempos de despacho del sistema actual y el tiempo de alimentación empleado. En el caso del despacho a granel el tiempo de alistamiento es de 165 minutos y para el producto ensacado es de 170 minutos.



**Figura 7.** Simulación sistema actual de operación- Tiempos de despacho granel y ensacado  
**Fuente.** Autores

En el caso del sistema con tecnología RFID al ser sometido a la evaluación con la estructura de simulación con dinámica de sistemas se obtuvo para el tiempo de alistamiento en granel de 40 minutos. Para el tiempo de alistamiento (despacho) del producto ensacado fue de 35 minutos.



**Figura 8.** Simulación sistema con Tecnología RFID- Tiempos de despacho granel y ensacado  
**Fuente.** Autores

El resultado del sistema de simulación presenta las bondades y reducciones obtenidas a través de la implementación de la tecnología RFID de acuerdo a la arquitectura del sistema propuesto.

De acuerdo a estos resultados se presentan mejoras de tiempo de alistamiento en el despacho del 75,7% en el caso del producto a granel. Para el producto ensacado se obtienen mejoras de 79,4% en el tiempo de alistamiento. Lo anterior implica mejoras en el flujo de material asociadas al control y trazabilidad de los productos.

Es importante tener en cuenta que para la toma de decisiones de esta solución se debe evaluar los costos de implementación. Para esto se estimaron los costos del proyecto teniendo en cuenta la adquisición de equipos, instalación e ingeniería, de cada uno de los puntos del proceso como se observa en la tabla 3:

**Tabla 3.** Costos de implementación

	<b>SISTEMA ACTUAL</b>	<b>SISTEMA RFID</b>
<b>Portería de entrada</b>	0	112.584.396
<b>Báscula de entrada</b>	0	107.426.746
<b>3 Silos</b>	0	212.105.239
<b>1 Caricamat</b>	0	95.482.282
<b>Báscula de Salida</b>	0	107.426.746
<b>Portería Salida</b>	0	101.811.320
<b>COSTO TOTAL</b>	0	736.836.729

**Fuente.** Autores

De igual forma se estimaron los tiempos de implementación del nuevo en sistema para evaluar el impacto y el plan de contingencia durante el tiempo de instalación:

**Tabla 4.** Tiempos de implementación

	<b>SISTEMA ACTUAL</b>	<b>SISTEMA RFID</b>
<b>Adquisición de equipos</b>	0	60
<b>Portería de entrada</b>	0	10
<b>Báscula de entrada</b>	0	6
<b>3 Silos</b>	0	18
<b>1 Caricamat</b>	0	4
<b>Báscula de salida</b>	0	6
<b>Portería Salida</b>	0	10
<b>TIEMPO TOTAL DÍAS</b>	0	114

**Fuente.** Autores

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se analizó la problemática de la operación de despachos de una empresa del sector de cementos y como a partir de un modelo de simulación basado en dinámica de sistemas, se puede evidenciar los beneficios y bondades de la implementación de tecnologías como RFID dentro de la industria, que permitan no solo automatizar un proceso completo y disminuir tiempos, sino obtener la trazabilidad de toda la operación.

Para definir cada una de las variables del sistema a analizar, se realizó el modelamiento del diagrama causal bajo los lineamientos de Sterman, que permitió plasmar las causas estructurales que determinan el comportamiento de las variables de este sistema. A partir de la evaluación de cada una de estas se evidenció su interacción y las diferentes acciones que afectan las tendencias de comportamiento del sistema.

A partir de la definición del diagrama causal, se estructuró el modelo de simulación de Forrester tomando la información de los tiempos actuales de cada una de las operaciones de despacho con respecto a los tiempos propuestos con la implementación de la nueva tecnología RFID, el cual arrojó disminuciones en tiempo que se encuentran sobre el 70% con respecto al sistema actual, lo cual es directamente proporcional a la ampliación de la capacidad de despacho de la planta, permitiendo así a esta compañía no solo optimizar los recursos de una operación sino una ventaja competitiva dentro del mercado al mejorar el tiempo de respuesta con respecto a los requerimientos de sus clientes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] T. Moe, «Perspectives on traceability in food manufacture,» *Trends in Food Science & Technology*, 1998.
- [2] I. S. O., *Norma Internacional ISO 9000: Sistema de gestión de la calidad-Fundamentos y vocabulario*, Ginebra: ISO, 2005.
- [3] Royoa, P. L. (2013). Study to determinate the feasibility of RFID to facilitate traceability in a logistics operator. *ScienceDirect* , 2-3.
- [4] Mingxiu, Z. C. (2012). The Application used RFID in Third Party Logistics. *Physics Procedia* .
- [5] Sterman, J. D. (1989). *Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment*.

[6] Prasanna, K. H. (2012). RFID GPS and GSM based logistics vehicle load balancing and tracking mechanism. *Procedia Engineering* , 726-729.

[7] Herrera, M. (2014). Perspectiva de trazabilidad en la cadena de suministros de frutas: un enfoque desde la dinámica de sistemas. *Ingeniería*. N° 22

[8] Y. Bendavid, «Explorando los impactos de la RFID en los procesos negocios de una cadena de suministro,» *Journal of Technology Management & Innovation*, vol. 4, n° 1, 2006.

[9] A. Sabbaghi y G. Vaidyanathan, «Effectiveness and efficiency of RFID technology in Supply Chain Management Strategic values and Challenges,» *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, vol. 2, n° 3, pp. 71-81, 2008.

[10] M. Canavari, «Traceability as part of competitive strategy in the fruit supply chain,» *British Food Journal*, vol. 112, n° 2, pp. 171-186, 2010.

[11] P. Jones, «Radio frequency identification and food retailing in the UK.,» *British Food Journal*, vol. 6, n° 107, pp. 356-360, 2005

[12] Sterman, J. D. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a complex world*. McGraw Hill. 2000.