



## Optimización del costo de producción en la elaboración del acero en ACINOX Las Tunas

### Optimization of the cost of production in the elaboration of steel in ACINOX Las Tunas

**Luis Ángel Sosa Rivero**

Facultad de Ciencias Técnicas y Agropecuarias, Departamento de Ingeniería Informática,  
Universidad de Las Tunas, Cuba  
luissr@ult.edu.cu

doi: <https://doi.org/10.36825/RITI.07.14.002>

Recibido: Abril 30, 2019

Aceptado: Agosto 21, 2019

**Resumen:** Los sistemas de ayuda a la decisión muestran insuficiencias para gestionar dinámicamente el proyecto de cambio de la gestión empresarial y lograr la coherencia del proceso de selección de caminos a seguir en las líneas productivas con la optimización del costo. Ofrecen amplios análisis cuantitativos, carentes del análisis estratégico de las alternativas existentes para minimizar los gastos innecesarios. Esto, unido a las dificultades de los modelos matemáticos para el análisis cuantitativo de elementos intangibles, a través del conocimiento de los expertos, evidencia la necesidad de contar con herramientas informáticas capaces de modelar las particularidades de la producción para explotar las características de los entornos actuales, con el fin de contribuir al desarrollo de la empresa estatal socialista que aspiramos. La implementación de esta herramienta tiene una gran significación práctica, pues permitirá diseñar e implementar una aplicación web que modela la optimización del costo de producción del acero líquido y la correspondencia del mismo con la vía más factible. Este modelo permite la combinación de elementos tangibles e intangibles valorados a través de expertos, considerando escalas categoriales de producción; con información cuantitativa, que permite la selección de las alternativas de decisión en la producción de acero líquido, así como que e integra a la plataforma de los restantes módulos implementados en la empresa de Aceros Inoxidables de Las Tunas (ACINOX).

**Palabras clave:** *Decisión, Optimización, Modelo.*

**Abstract:** The systems of help to the decision show inadequacies to negotiate the project of change of the managerial administration dynamically and to achieve the coherence of the process of selection of roads to continue in the productive lines with the optimization of the cost. They offer wide quantitative analysis, lacking of the strategic analysis of the existent alternatives to minimize the unnecessary expenses. This, together to the difficulties of the mathematical models for the quantitative analysis of intangible elements, through the knowledge of the experts, evidences the necessity to have computer tools able to model the particularities of the production to exploit the characteristics of the current environments, with the purpose of contributing to the development of the company state socialist that we aspire. The implementation of this tool has a great practical significance, because it will allow to design and to implement an application web that models the optimization of the cost of production of the liquid steel and the correspondence of the same one with the most feasible road. This model

allows the combination of tangible and intangible elements valued through experts, considering scales production categoriales; with quantitative information that allows the selection of the alternatives of decision in the production of steel liquid, as well as that and it integrates to the platform of the remaining modules implemented in the company of Stainless Steels of The Tunas (ACINOX).

**Keywords:** *Decision, Optimization, Model.*

## 1. Introducción

El desarrollo vertiginoso de las aplicaciones informáticas en el mundo tiene cada vez más incidencia en la Gestión Empresarial, hoy no se concibe una toma de decisión sin un previo análisis exhaustivo con herramientas de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). Las tendencias actuales se enmarcan en la utilización de sistemas informáticos destinados a la administración en una organización, los llamados Sistemas de Planificación de Recursos de la Empresa, en inglés *Enterprise Resource Planning* (ERP).

En Cuba, para hacer frente el reto que impone el desarrollo de las TIC, a partir del año 2000, el Comité Ejecutivo de Consejo de Ministros, elaboró y comenzó a aplicar una estrategia conocida como “La Batalla de Ideas para la Informatización de la Sociedad Cubana”. Dentro de esta estrategia está concebido, aumentar la efectividad y facilitar la toma de decisiones en la gestión de dirección a los órganos de gobierno, la administración y las empresas. En tal sentido, se han venido desarrollando ciertos avances en el ámbito empresarial cubano con la introducción de soluciones informáticas nacionales impulsadas por la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) o adquiridas de empresas internacionales con el fin de facilitar el proceso de la toma de decisiones.

Las decisiones empresariales pueden ser sumamente complejas. Esta complejidad se multiplica con el hecho de que el decisor no es una sola persona y que las organizaciones se encuentran en ambientes dinámicos y complejos. La estrategia de la empresa es una amalgama de objetivos, íntimamente imbricados al conocimiento que la organización tiene de sí misma, del entorno y de las ciencias empresariales [1].

El sistema productivo en la empresa cubana actual está dotado de un conjunto de recursos que deben ser transformados en determinados resultados, que satisfagan las exigencias y requerimientos de los clientes basados en el perfeccionamiento empresarial socialista. Para lograr dicho cambio los sistemas productivos adoptan determinadas formas en su funcionamiento, conocidas como tipos de sistemas productivos. Estos se clasifican de acuerdo a tres características: la relación producción-consumo, la forma de ejecutar el proceso productivo y el elemento a optimizar. Con el propósito de garantizar el perfeccionamiento de un sistema empresarial instituido, disciplinado, participativo, eficaz y eficiente, se establecen las bases en el Decreto Ley No. 284 del Consejo de Estado que rige las Normas y Procedimientos como instrumentos de trabajo para una mejor aplicación del nuevo sistema de gestión empresarial [2].

La empresa de Aceros Inoxidables S.A. de Las Tunas despunta a la vanguardia por sus altos niveles de productividad y eficiencia garantizado por su capital humano altamente calificado, aplicando para ello un sistema de gestión y dirección empresarial, que cuenta con la gestión de la calidad certificada por la firma internacional Loyd's Register, desde el 2000 [2].

En un diagnóstico preliminar realizado en el proceso productivo para determinar cuáles son las causas que inciden en costos de producción se evidenció que:

- Aunque se cuenta en la organización con el flujo de los materiales que intervienen en el proceso productivo, no se modelan y grafican todas las variantes.
- No se explota para la planificación de la producción el equipamiento informático instalado.
- No se minimizan los costos de producción con todas las restricciones establecidas ya que el software Solver tiene un número limitado a asimilar.

- No se cuenta con un sistema de administración de la producción con base científica desde las ciencias informáticas sobre el tema.
- Se desaprovecha la oportunidad de mejorar los indicadores de producción y se incurren en gastos monetarios innecesarios.

Todas estas deficiencias llevan a plantear como objetivo: Implementar un sistema informático que modele a través de la investigación de operaciones, los procesos productivos de la empresa de Aceros Inoxidables de Las Tunas, que facilite la correcta y oportuna toma de decisiones.

## 2. Desarrollo

### 2.1. Fundamentación de las Áreas de Resultados

El sistema empresarial cubano tuvo necesidad de priorizar determinados sectores de la economía, entre ellos, Turismo, Energía y Minas, Construcción, Metalurgia, Banco Nacional de Cuba, Comercio Interior, Biotecnología, y Agroindustria, según los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. La industria siderúrgica cubana, con un historial de más de 50 años en la producción de aceros al carbono y en la fundición de piezas de aceros aleados, la Empresa de Aceros Inoxidables de Las Tunas (ACINOX Las Tunas), fue constituida en 1990, está dotada de las instalaciones necesarias para producir acero al carbono y aleados, su sistema de gestión de la calidad certificado por Loyd's Register, desde el año 2000.

La producción fundamental de la empresa es la fabricación de palanquillas de acero al carbono, obtenidas mediante colada continua en el taller de la acería, destinadas a la exportación y consumo nacional así como la fabricación de barras corrugadas de diversos perfiles en el taller de laminación, destinadas al consumo nacional, además está compuesta por diferentes plantas y talleres auxiliares, con una estrecha relación entre ellos. Esta industria representa una importante fuente de ingresos en moneda libremente convertible, ya que su producción se comercializa en Centroamérica, el Caribe y Europa [2].

Su objeto social es producir y comercializar palanquillas de acero al carbono, barras lisas y corrugadas, perfiles. Su misión es asegurar la producción y comercialización de palanquillas de acero al carbono y aleados, así como barras corrugadas para refuerzo de hormigón. Satisfacer las necesidades del mercado nacional e internacional, con productos de calidad. Su visión es mantenerse posicionada en el mercado internacional con aceros al carbono de calidad y en el mercado nacional con barras para refuerzo de hormigón. Proyectándose en la diversificación e incremento de la producción de aceros aleados y especiales, así como en la exportación de barras corrugadas [3].

### 2.2. Descripción de los procesos que se ejecutan en la toma de decisiones en la gestión de los procesos productivos

El proceso productivo comienza desde la selección de los recursos que están en existencia sean chatarras ferrosas, importada, desmantelada, militar, hierro fundido, estas se tratan de cortar en fracciones pequeñas para luego ser transportadas por el pulpo hasta el horno de arco eléctrico (HAE).

Cuenta con dos procesos principales y diferentes talleres que se describen seguidamente:

- Unidad Empresarial de Base (UEB) de acería: Constituye uno de los procesos principales que genera valor y donde se elaboran las producciones de palanquillas de acero al carbono.
- Taller de Aseguramiento a la producción: Almacena y distribuye las materias primas fundamentales en el proceso productivo, cuenta con un almacén de materias primas y materiales (chatarras, ferroaleaciones, electrodos)

- Elaboración y afino: Proceso de transformación de la chatarra en acero líquido y su posterior ajuste en cuanto a la composición química solicitada por el cliente, para lo cual cuenta con un HAE, donde ocurre la fusión de la carga (chatarra) y un ajuste primario del acero; también posee un horno de cuchara (HC) en el cual se lleva a cabo el ajuste total de la composición química según la marca de acero a producir.
- Instalación de vaciado continuo (IVC): Agregado metalúrgico donde se lleva a cabo la transformación del acero líquido procedente del taller de elaboración y afino en forma de palanquillas.
- Reverbería: Encargada de brindar servicios de reparación y montaje a los agregados metalúrgicos que requieran de revestimiento refractario, ya sea en la acería o fuera de ella.
- Producto terminado: Rectifica, organiza y controla la producción terminada.
- Subestación eléctrica: Uno de los subprocesos de gran importancia. Debido a los altos consumos de energía, propios del proceso productivo, cuenta con un sistema capaz de recepcionar y distribuir la energía eléctrica a cada uno de los talleres y plantas.

### 2.2.1. Proceso de toma de decisiones en la producción

El diagnóstico del proceso de toma de decisiones, su sustentó en la base de entrevistas y visitas a la fábrica, cuyo objetivo fundamental fue definir las condiciones existentes en la toma de decisiones que limitan la gestión de los costos de producción.

Se decidió incluir en el modelo que sería programado en la plataforma Odoos solo aquellos recursos que urge optimizar y que representan más del 80% de los costos productivos de la entidad. Estos son:

1. Chatarra Ferrosa/t
2. Chatarra Importada/t
3. Chatarra desmantelamiento/t
4. Hierro Fundido/t
5. Recirculación/t
6. Silicio/t
7. Sílico Manganeso/t
8. Carbón de Carga/t
9. Carbón de Insuflado y Reducción/t
10. Carbón Ajuste/t
11. Sidox/t
12. CaF<sub>2</sub>
13. 300 mm/t
14. 500 mm/t
15. O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>
16. electricidad/Mwh HAE
17. electricidad/Mwh HC
18. Cal

El número a la izquierda de cada recurso constituye el índice que se utilizará para referirse al mismo en la definición de las variables del modelo.

Se utilizaron estimaciones de costos y precios de compra a partir de los reales observados por cada elemento en las fichas de costo en el periodo comprendido entre enero 2015 y abril 2017.

Se determinaron como principales elementos restrictivos los que a continuación se muestran:

1. Disponibilidad de recursos
2. Productivas y de rendimiento
3. Composición química según parámetros de calidad
4. Composición de residuales
5. Relaciones de consumo
6. Restricciones técnicas y energéticas

El modelo permitirá optimizar la planificación de la producción mensual de hasta 5 marcas de acero diferentes, teniendo en cuenta los 18 recursos antes mencionados. Las ecuaciones generales y específicas se detallan a continuación.

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{18} C_j X_{ij} \quad (1)$$

Donde:

$C_j$ : Costo de una unidad del recurso  $j$ .

$X_{ij}$ : Unidades de recurso  $j$  a utilizar en la producción del acero marca  $i$ .

El rendimiento es representado como sigue:

$$\sum_{i=j}^{18} r_j x_{ij} = P_i \quad \forall i \quad (2)$$

Donde:

$r_j$ : Índice de rendimiento de la materia prima  $j$ .

$P_i$ : Plan de producción del acero marca  $i$ .

La disponibilidad de recursos se calcula de la siguiente manera:

$$\sum_{i=1}^5 X_{ij} \leq D_j \quad (3)$$

Donde:

$D_j$ : Disponibilidad del recurso  $j$ .

La limitación del contenido Hierro (Fe) fundido es calculada según la Ecuación (4).

$$\sum_{i=1}^5 X_{j4} \leq 0.067P_i \quad (4)$$

Finalmente, la limitación del contenido Fe es mostrado en la Ecuación (5).

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^7 CF_{ej} X_{ij} \leq P_i \quad (5)$$

Donde:

$CF_{ej}$ : Índice de contenido de hierro en la materia prima  $j$ .

A continuación el cuestionario de las entrevistas realizadas a los especialistas de la producción es presentado, así como un análisis de los resultados obtenidos.

¿Considera usted que las decisiones sobre la producción tienen una base fundamentada? 63% si y 37% no. ¿Existe conocimiento sobre las decisiones en la gestión de la producción en ACINOX? 9.3% si y 90.7% no. ¿Usted aprecia que con la implementación de una herramienta matemática se pueda mejorar la optimización de los costos en la producción de acero líquido? 97.3% si y 2.7% no. ¿Es posible con la implementación de una herramienta informática mediante un software integrado a las plataformas de la empresa mejorar la toma de decisiones en el proceso productivo? 94 % si y 6% no. ¿El proceso de toma de decisiones en la producción de acero líquido tiene en cuenta todos los indicadores del costo de producción? 5% si y 95% no. ¿El departamento de tecnología aplica instrumentos para fundamentar las decisiones de producción de una determinada marca? 30% si y 70% no.

El proceso de toma de decisiones para minimizar los costos se hace engorroso ya que se deben plantear escenarios modelados que permitan una certera y oportuna decisión. Además de que estos análisis se sustentan en indicadores históricos, así como los requerimientos de la marca a producir.

Hoy este proceso se ejecuta basándose en la experiencia de los especialistas que laboran en las diferentes áreas del proceso productivo, incurriendo en la necesidad de ser imprescindibles en desarrollo de la UEB, cuando el país está llamado a facilitar procesos utilizando las tecnologías computacionales, como es el caso de tener un software que modele escenarios y nos ayude a minimizar los costos de producción cumpliendo con las normas de calidad.

### 2.3. Análisis y diseño del sistema propuesto

Luego de realizada la investigación se trabaja en una aplicación web diseñada específicamente, para la toma de decisiones en el proceso productivo sustentándose en un modelo matemático simplex que se nutre de los requerimientos según la marca, recursos y composición química.

Para el diseño del sistema se realizó un análisis de sistemas similares que existen en la actualidad, que se dedican a la toma de decisiones por la simulación, y en la producción. A continuación, se enuncian brevemente.

**Sistema de Ayuda a la Decisión basado en la Lógica Difusa Compensatoria.** Aplicación en el Grupo Empresarial de la Industria Portuaria. Tesis en Opción al Título Académico de Máster en Informática Empresarial del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. El prototipo del Sistema de Ayuda a la Decisión diseñado, fue aplicado en el Grupo Empresarial de la Industria Portuaria Cubana, donde se obtuvo una prioridad de las características y objetivos que facilita la gestión de monitoreo y ejecución; y se analizó la conveniencia estratégica de una decisión [4]. Se centra en la inteligencia artificial a través de predicados para obtener objetivos estratégicos de desarrollo, pero no abarca los procesos productivos mediante modelos matemáticos.

**Diseño e implementación en Python de un modelo de simulación de horarios de servicios ferroviarios para incrementar la productividad en los servicios.** Proyecto de fin de carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, Escuela Técnica Superior de la Universidad de Sevilla 2014, el presente software se centra en el diseño e implementación, en lenguaje *Python*, de una aplicación que integre un módulo de construcción de líneas de transporte ferroviario, sobre las que se va a poder simular cualquier horario específico ante cualquier descripción

de la demanda pero su sustento como modelo matemático llega hasta la planificación de redes por lo que no contempla la producción [5]. El objetivo de ese modelo fue realizar un simulador de eventos discretos, programado en Python, cuyo uso sea sencillo para el usuario, y, a su vez, con una mayor modularidad y productividad enfocado en eventos discretos, pero nunca cumplió con las expectativas para minimizar costos en la producción.

### 2.3.1. Tecnologías utilizadas en el sistema

Se implementó el software con el lenguaje de programación *Python*, el cual es un lenguaje de código abierto muy popular, adecuado para desarrollo web y que puede ser incrustado en HTML. Lo mejor de *Python* es que es de tipado dinámico cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un código legible. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma y disponible en varias plataformas, se aplica a modelos matemáticos por su versatilidad en las librerías con las que cuenta [6].

Se utilizó como *framework* de desarrollo el Sistema de Gestión Empresarial *Odoo* como potente herramienta para la creación de módulos empresariales. Un *framework* web es un conjunto de componentes que te ayudan a desarrollar aplicaciones web más fácil y rápidamente. Contiene potentes librerías para la modelación matemática [7].

Como *framework* de desarrollo del lado del cliente se manejó *Bootstrap 3.3*, el cual es un *framework* basado en HTML y CSS, ayuda a agilizar la creación de la interfaz de nuestra página web. Con la particularidad, que, diseñando con *Bootstrap*, nuestro sitio estará adaptado a la pantalla del dispositivo con el que accedemos. Además de agilizar la creación de nuestra web, con *Bootstrap* se puede crear un diseño limpio, intuitivo, usable y de poco peso, por lo que la carga de nuestra web será muy rápida. Es muy cómodo, porque muchas de las funcionalidades que necesitaremos ya están desarrolladas, y si no, tienes acceso a una gran cantidad de documentación en varios idiomas y una comunidad que dará respuestas a todas tus dudas [8].

Se aplicó MySQL versión 5.6.21, el cual constituye la base de datos de software libre más popular del mercado. Es desarrollada, distribuida y costada por el grupo de empresas MySQL AB. Es un sistema de gestión de información que ofrece los mecanismos para añadir, acceder y procesar las distintas informaciones almacenadas en ella. Los motivos por los que se ha hecho tan popular, además de lo expuesto anteriormente, residen en el hecho de que supone un servidor cuyas características de velocidad, flexibilidad, fiabilidad y facilidad de uso son extremadamente atractivas y competitivas respecto del resto de soluciones existentes en el mercado. El software de MySQL ofrece un modelo de cliente/servidor consistente en un servidor SQL multihilo que es capaz de soportar diferentes clientes, librerías, herramientas administrativas y APIs [8].

Todo el proceso de desarrollo de software estuvo guiado por la metodología Programación Extrema (XP siglas en inglés), la misma centra su atención en la producción de software con medianos o pequeños equipos de desarrollo, asumiendo que la planificación nunca será perfecta, y que los requerimientos cambian a lo largo de todo el ciclo de vida de la aplicación según varían las necesidades del negocio; por tanto, el valor real reside en obtener rápidamente un plan inicial, y contar con mecanismos de retroalimentación que permitan conocer con precisión dónde se está [8].

La metodología XP se fusionó con la metodología Prototipos Evolutivos (PE) teniendo en cuenta que el volumen del software a implementar nos es tan grande como complejo, ya que ella se centra en reprogramar los requisitos mediante la realimentación continua entre el cliente y el equipo de desarrollo. Se centra en la idea de ayudar a comprender los requisitos que plantea el usuario, sobre todo si este no tiene una idea muy acabada de lo que desea. También pueden utilizarse cuando el ingeniero de software tiene dudas acerca de la viabilidad de la solución pensada o se aplica un modelo matemático.

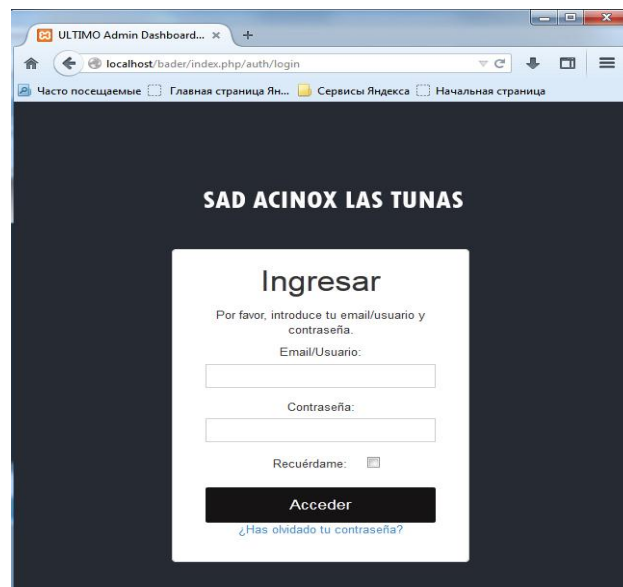
Para el diseño de la interfaz la aplicación se sustenta en la facilidad de navegación y comprensión de las funcionalidades para el usuario. Lleva implícito la sencillez y agilidad de carga en el diseño utilizando las librerías CSS de *Bootstrap*.

La aplicación está constituida por tres sesiones, en correspondencia con el rol que con que se acceda ya sea: *Administrador, Jefe de Producción, Técnico de la Producción*. De la misma forma se implementaron funcionalidades referidas a la gestión de los parámetros a tener en cuenta en el modelo matemático, las restricciones, marcas, composición química, entre otras. Todas estas funcionalidades se distribuyeron según la metodología a utilizar en tres iteraciones que permitieron implementarlas en el tiempo estimado.

En la primera iteración se tuvo en cuenta las funcionalidades más relevantes para la estructura y el diseño de la aplicación, aquellas con mayor peso del contenido, o lo que se conoce en la metodología como de prioridad alta. En esta etapa resultó imprescindible determinar todas las historias de usuarios que generan las clases entidades para el manejo de los datos a procesar por parte del sistema gestor de base de datos, así como se estimaron los puntos de historia que darían el peso total y tiempo determinado del *software* a desarrollar.

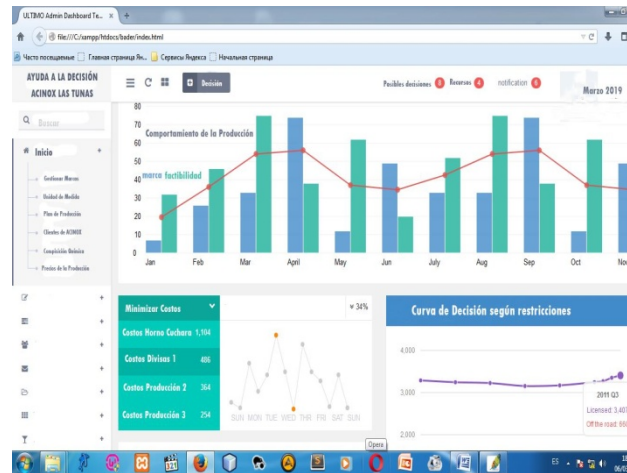
En la segunda fue implementada la funcionalidad para la captación de los datos de las restricciones necesarias para generar la función objetivo. Las cuales tienen un alto peso en el contenido ya que de ella dependerá el resultado final de la información que necesitará la empresa para la toma de decisiones. Es la funcionalidad primaria y más integradora en su desarrollo.

Las funcionalidades restantes como el caso de las gráficas se implementaron en la tercera iteración, a través de las cuales se podrá evaluar el resultado final al manipular la aplicación, obteniéndose al final una versión 1.0 que puede variar en función de las sugerencias del cliente, es este momento de desarrollo donde se integra la plataforma de decisión a los restantes módulos implementados en la empresa como el caso del que logra conectar con el Versat. La primera página que se visualiza es para que el usuario introduzca su identificador y su contraseña (Fig. 1) para acceder a los distintos módulos del sistema.



**Figura 1.** Interfaz de autenticación de usuario.





**Figura 2.** Interfaz que muestra las gráficas de decisión, y la totalidad de las funciones a realizar en el sistema.

Como ya se dijo, cada usuario tiene un rol específico que estará en correspondencia con el módulo al que podrá acceder, por ejemplo, jefe de Producción. Este es el encargado de evaluar las decisiones referentes a la producción (Fig. 2).

A continuación se muestra el ejemplo de algoritmo metrópolis utilizado para las muestras de los recursos necesarios para la producción del acero.

```
def metropolis(func, steps=10000):
    """A very simple Metropolis implementation"""
    muestras_recursos = np.zeros(steps)
    old_x = func.mean()
    old_prob = func.pdf(old_x)
    for i in range(steps):
        new_x = old_x + np.random.normal(0, 0.5)
        new_prob = func.pdf(new_x)
        aceptacion = new_prob / old_prob
        if aceptacion >= np.random.random():
            muestras_recursos[i] = new_x
            old_x = new_x
            old_prob = new_prob
        else:
            muestras_recursos[i] = old_x
    return muestras_recursos
```

#### 2.4. Importancia de la Investigación

La importancia de esta investigación radica en establecer un enfoque, que ayuda a garantizar la coherencia de la modelación de la estrategia de la organización, permitiendo un análisis riguroso de los costos de producción, apoyándose en las valoraciones de expertos que expresan las veracidades de las incidencias, importancia o presencia entre todos los elementos definidos. Utiliza las librerías de *Python* definidas para la modelación matemática obteniendo modelos que revelan características cruciales del proceso productivo, con el fin de definir un nivel de prioridad entre las decisiones a tomar.

El aporte práctico de la investigación radica en el perfeccionamiento de la toma de decisiones en aras de minimizar los costos de producción de acero líquido en la empresa objeto de estudio, lo cual se traduce en un mejor aprovechamiento de los recursos, que demanda el proceso productivo y por consiguiente la obtención de mayores utilidades.

Con la utilización del sistema propuesto se logran minimizar los costos de producción del acero permitiendo reducir la cantidad de errores humanos cometidos y tener una base de datos consistente y segura que evita la redundancia de datos.

### 2.5. Validación de la efectividad del sistema

Se aplicó en el departamento de gestión de la producción del acero con el objetivo de validar su efectividad. A través de la interacción con el sistema se efectuaron diferentes análisis que permitieron tener en cuenta todas las variables y restricciones del modelo productivo. Para ello se instrumentó la prueba por el método de experto aplicando el coeficiente de ponderación o significación de cada criterio determinado a la hora de clasificar los sistemas de producción.

Este consiste en que un grupo de expertos le otorgue según su opinión un grado de importancia a cada análisis realizado por el sistema y mediante las dójimas de Kendall se verifica la concordancia entre ellos. Los designados fueron especialistas dentro de los segmentos referidos a: comercial, tecnología, producción, además poseen un alto grado de conocimiento sobre el tema habiendo desarrollado maestrías y doctorados sobre la producción de acero, la cantidad seleccionada fue un número impar. Ellos determinaron en un 0,8 para una alta concordancia lo que evidencia la efectividad del sistema.

De igual manera se validó mediante la prueba de aceptación (Fig. 3), que propone la metodología de desarrollo Programación Extrema (XP), obteniéndose en los 5 casos de prueba descrito el éxito esperado por parte del cliente logrando superar las herramientas de *Excell* utilizadas para modelar optimización de la producción. Al finalizar se realizó la prueba de integración donde se sincronizaron los módulos existentes con el nuevo sistema.

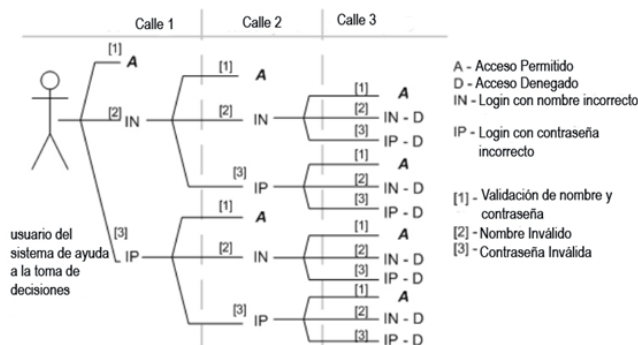


Figura 3. Diagrama de Implementación de la prueba de aceptación XP.

### 3. Conclusiones

Otros de los beneficios que reporta es complementar el proyecto ACINOX- Universidad de Las Tunas para fomentar el desarrollo de la informatización en aras de elevar la productividad empresarial con énfasis en la exportación.

Este Sistema logra minimizar los gastos en la adquisición de *software*, y soberanía tecnológica al ser una plataforma de software libre. Integra soluciones que abarcan más restricciones y datos que el *software Solver* de Excel utilizado hasta el momento para los estudios de factibilidad en la producción.

La aplicación obtenida constituye una herramienta para la toma de decisiones en el proceso productivo de la Empresa de Aceros Inoxidables de Las Tunas ACINOX. Presenta una interfaz amigable, intuitiva, garantizando al departamento de producción, eficiencia y fiabilidad en la decisión a tomar. Con la aplicación se lograron complementar una serie de datos sobre la mesa antes de trazar una estrategia a seguir para elevar la producción a un menor costo.

#### 4. Referencias

- [1] Figueroa López, A., García de la Torre, C. (2018). Un modelo para la toma de decisiones sustentables en las organizaciones. *Investigación Administrativa*, 47 (122), 1-17.
- [2] Batista, J. P. F. (2017). *Procedimiento para el control y optimización de los costos de producción del proceso de elaboración de Acero en ACINOX Las Tunas*. (Tesis Maestría). Ingeniería Industrial, Universidad de Las Tunas, Las Tunas.
- [3] ACINOX. (2019). *Perfeccionamiento Empresarial ACINOX Las Tunas*. Recuperado de: [www.acinoxtunas.cu](http://www.acinoxtunas.cu)
- [4] Moreda, I. I. C. (2007). *Sistema de Ayuda a la Decisión basado en la Lógica Difusa Compensatoria*. (Tesis Maestría). Informática Empresarial, CUJAE, La Habana.
- [5] Hernández de la Torre, F. (2015). *Diseño e implementación en Python de un modelo de simulación de horarios de servicios ferroviarios*. (Proyecto de Fin de Carrera). Ingeniería Informática, Universidad de Sevilla.
- [6] Iglesias Alcón, V. (2016). *Simulación con OMNeT++ de escenarios de reparto de canales*. (Trabajo Fin de Grado). Ingeniería Telemática, Universidad de Alcalá.
- [7] Odo. (2019). *Odo Development Essentials Book*. Recuperado de: <https://fundamentos-de-desarrollo-en-odoo.readthedocs.io/es/latest/odoo-development-essentials.html>
- [8] Batista Díaz, C. M., Lujo Aliaga, Z., Cedeño Galindo, L. V., Sosa Rivero, L. A., Pérez Céspedes, A., Megna Alicia, A. (2018). Propuesta de Sistema Informático para la gestión del plan de trabajo individual de los profesores. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, 6 (11), 67-71.