

Editorial

Artículos de investigación

- Plan de mejora para la reactivación del proceso de recuperación de condensado del sistema de vapor en una empresa cervecera

7-28

Improvement plan for the reactivation of the steam system condensate recovery process in a brewery company

María Carolina García, Adriana Ramírez Terife, Mariangel Sánchez Neira

- Innovaciones organizacionales para la creación de valor en organizaciones de salud: un estudio de caso

29-48

Organizational innovations for value creation in healthcare organizations: a case study

Dario Maximiliano Dimarco, Luciana Belén Tabone

- Modelo de gestión de residuos mediante Dinámica de Sistemas orientado al reciclaje para Oberá, Misiones, Argentina

49-64

Waste management model using Systems Dynamics for recycling in Oberá, Misiones, Argentina

Sonia Romina Niezwida, Juan Carlos Michalus, Graciela Beatriz Gavazzo

Artículos de divulgación

- Efecto de la deformación por torsión a 2450° en la recristalización del acero ASTM A-36

67-78

Effect of torsion deformation at 2450° on the recritalization of ASTM A-36 steel

Carmen Osorio, Victoria Armas, Carlos Alfonzo, Neyda Severian

- Diagnóstico del sistema de mantenimiento de la sucursal Empresa de Telecomunicaciones Camagüey

79-96

Diagnosis of the maintenance system of the Camagüey Telecommunications Company branch

Lilian Chaviano Tovar, Dayner Manzo Pinto, Neeldes Matos Ramírez

Normas para publicación

97-98

Tabla de contenido

Editorial

Artículos de investigación

- Plan de mejora para la reactivación del proceso de recuperación de condensado del sistema de vapor en una empresa cervecera** 7-28

Improvement plan for the reactivation of the steam system condensate recovery process in a brewery company

María Carolina García, Adriana Ramírez Terife, Mariangel Sánchez Neira

- Innovaciones organizacionales para la creación de valor en organizaciones de salud: un estudio de caso** 29-48

Organizational innovations for value creation in healthcare organizations: a case study

Dario Maximiliano Dimarco, Luciana Belén Tabone

- Modelo de gestión de residuos mediante Dinámica de Sistemas orientado al reciclaje para Oberá, Misiones, Argentina** 49-64

Waste management model using Systems Dynamics for recycling in Oberá, Misiones, Argentina

Sonia Romina Niezwida, Juan Carlos Michalus, Graciela Beatriz Gavazzo

Artículos de divulgación

- Efecto de la deformación por torsión a 2450° en la recritalización del acero ASTM A-36** 67-78

Effect of torsion deformation at 2450° on the recritalization of ASTM A-36 steel

Carmen Osorio, Victoria Armas, Carlos Alfonzo, Neyda Severian

- Diagnóstico del sistema de mantenimiento de la sucursal Empresa de Telecomunicaciones Camagüey** 79-96

Diagnosis of the maintenance system of the Camagüey Telecommunications Company branch

Lilian Chaviano Tovar, Dayner Manzo Pinto, Neeldes Matos Ramírez

- Normas para publicación** 97-98

EDITORIAL

EDITORIAL

El Ingeniero Industrial y la mejora continua: una mentalidad empresarial imprescindible para innovar y mantenerse a la vanguardia

La ingeniería industrial sigue en constante evolución, adaptándose al nuevo ecosistema global. La industria manufacturera, como escenario natural para el desempeño del ingeniero industrial, está experimentando un crecimiento acelerado. Como lo señala Kim (2025), este sector se encuentra en una posición sólida después de que la pandemia trastocara la cadena de suministro global; el autor agrega que “gran parte de este cambio se debe a la llegada de la tecnología, que ha ayudado a las empresas a optimizar sus negocios, avanzar hacia la sostenibilidad y aprovechar los datos para operar de forma más eficiente”.

En este sentido, García, Ramírez y Sánchez (Universidad de Carabobo) diseñan un plan de mejora para reactivar el proceso de recuperación de condensado del sistema de vapor en una empresa cervecera venezolana, aprovechando la disponibilidad de datos, el enfoque sostenible y el compromiso del talento humano.

En sintonía con la reducción de costos y la disminución de la huella de carbono, Niezwida, Michalus y Gavazzo (Universidad Nacional de Misiones) presentan un modelo de Dinámica de Sistemas para analizar la gestión de residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Oberá, Argentina. Por su parte, Osorio, Armas, Alfonzo y Severian (Universidad de Carabobo) evalúan el efecto de la deformación angular del acero ASTM-36 en su proceso de recristalización, lo que contribuye a la mejora de las propiedades de los materiales manufacturados. Asimismo, Chavianor, Manzo y Matos (Universidad de Camagüey) realizan un diagnóstico del sistema de mantenimiento de la empresa ETECSA en Cuba, diseñando estrategias para mejorar la disponibilidad de los equipos de telecomunicaciones.

El sector servicios también está presente en este número. Dimarco y Tabone (Universidad de La Plata) analizan el rol de la innovación organizacional en una entidad de salud

mental. Su estudio deja en evidencia que la adopción de tecnologías de la información y la redefinición de métodos de trabajo mejoraron el desempeño y facilitaron la transformación digital.

Tanto en la manufactura como en los servicios, la búsqueda de la eficiencia y la productividad sigue siendo el eje motor de nuestra disciplina. La mejora continua se ha convertido en una mentalidad empresarial imprescindible para innovar y mantenerse a la vanguardia (Anderson, 2025). Los ingenieros industriales deben aprovechar las tecnologías emergentes para mejorar el desempeño organizacional, siempre manteniendo la esencia de los valores y la ética profesional.

Desde el Comité Editorial, agradecemos a quienes hacen posible esta publicación, e invitamos a seguir colaborando.

Por el Comité Editorial
Dr. Agustín Mejías Acosta
Junio, 2025

Referencias

- Kim, S. D. O. (2025, 17 de enero). 2025 Manufacturing Predictions: The Rise Of Industry 4.0, Data Convergence, Changed Regulatory Climate And More. Forbes. [www.forbes.com].
- Anderson, K. (2025, 12 de febrero). The Real Meaning of Kaizen. IndustryWeek. [www.industryweek.com]



Signatory of
DORA

Plan de mejora para la reactivación del proceso de recuperación de condensado del sistema de vapor en una empresa cervecera

Improvement plan for the reactivation of the steam system condensate recovery process in a brewery company

María Carolina García Leal, Adriana Ramírez Terife, Mariangel Sánchez Neira

Palabras clave: plan de mejora, Retorno, Condensado, industria cervecera

Key words: improvement plan, condensate recovery, brewing industry

RESUMEN

El objetivo de investigación es diseñar un plan de mejora para reactivar el proceso de recuperación de condensado del sistema de vapor en una empresa cervecera. Debido a la presencia de problemas con el retorno hacia las calderas, saliendo éste a cañería. Con un nivel Descriptivo, la investigación presenta un diseño de campo no experimental, documental y su tipo es el de proyecto factible. Al abordar esta problemática, se propuso implementar dos dispositivos de enfriamiento, uno con Dióxido de Carbono (CO₂); para la evaporación de CO₂ y enfriamiento del condensado, y otro con amoníaco, para enfriar el condensado a una temperatura de 50°C. Finalmente, una reubicación y reconexión de las tuberías para recuperar condensado y reducir tiempos de recorrido del fluido y haciendo más eficiente las conexiones de retorno hacia las calderas. La implementación de las propuestas, busca una recuperación más eficiente de condensado a calderas, equivalente a unos \$181000/día, representando una inversión total de \$8685, recuperados en 1 semana de producción.

ABSTRACT

The current study was developed to create an improvement plan to reactivate the condensate recovery process in the steam system at a local Brewery. This, due to current issues with the return to the boilers, causing the condensate to be discharged into the sewer. This is a Descriptive study, with a non-experimental and documentary field design, and considered a feasible project. In order to address the problem, a CO₂ Device (Carbon Dioxide) for CO₂ evaporation and condensate cooling, an ammonia device to cool the condensate to 50°C and a pipes' relocation and reconnection were proposed. These measures aim to recover condensate and reduce travel times. It's expected that implementing these proposals, the condensate will be cooled and returned to the boilers, fluids travel distances will be reduced, and the pipes will be connected to the boilers' return line improving efficiency equivalent to a rough. \$181000/day, with a \$8685 investment turn around in a week's production.

INTRODUCCIÓN

La industria cervecera ha estado durante mucho tiempo a la vanguardia de la sostenibilidad y, a medida que esta tendencia global continúa expandiéndose, surgen nuevas oportunidades (Serviss et al., 2025). La industria cervecera a nivel global busca constantemente mejorar su eficiencia energética y reducir su huella ambiental.

La recuperación de condensado, el agua que se forma al enfriar el vapor representa una oportunidad significativa para lograr estos objetivos. El agua es un componente fundamental en la industria cervecera, ya que no solo sirve como medio para la extracción de azúcares fermentables de la malta de cebada, sino también en una variedad de actividades, incluida la limpieza de equipos, el enjuague de botellas y otras tareas operativas (Maria et al., 2023). Al reutilizar esta agua caliente en el proceso productivo, se reduce el consumo de agua potable, se disminuye la carga en los sistemas de aguas residuales y se sinceran los costos de energía asociados a la generación de vapor.

Para la empresa cervecera donde se desarrolló la investigación, la implementación de un sistema de recuperación de condensado eficiente puede traducirse en una serie de beneficios concretos, como: reducir costos, generando a su vez, menor consumo de agua, energía y productos químicos para el tratamiento de aguas. Aumento de la eficiencia, optimizando los procesos productivos y la reduciendo pérdidas energéticas, con una

mayor confiabilidad y, por consiguiente, la corrosión de las tuberías y equipos, prolongando con ello su vida útil. Los enormes volúmenes de producción anual ponen de relieve el fuerte impacto de la industria cervecera en el medio ambiente y la economía. Por estas razones, se requieren cambios radicales en la cadena cervecera para la transición de una economía lineal a una circular (Belardi et al., 2025). En tal sentido, durante el análisis del proceso de producción, en la sala de máquinas de la empresa cervecera, se observa que la recuperación del condensado implica, analizar y optimizar, identificando las fuentes de condensado, incluyendo todos los puntos donde se genera, como los intercambiadores de calor, las trampas de vapor y las tuberías. Luego, se evalúa la calidad y se determina el grado de contaminación del condensado. Seguidamente, seleccionar el sistema de tratamiento adecuado, con un diseño de red de recuperación cuya ruta mejor se adapte para transportar el condensado, desde el punto de generación hasta el punto de reutilización. Esto apoyándose en las tecnologías disponibles como trampas de vapor y las bombas de condensado. También se analizan casos de éxitos de otras cervecerías, que hayan implementado sistemas de recuperación de condensados, y para finalizar hacer un análisis económico, costo beneficio, para evaluar el impacto económico de la inversión.

De esta manera, la presente investigación tiene como finalidad analizar el proceso de

generación de vapor y así poder proponer mejoras en los métodos de trabajo que incrementen la productividad en la

empresa. Estas mejoras estarán basadas en técnicas de Ingeniería Industrial.

METODOLOGÍA

La unidad de análisis en la presente investigación está representada por el proceso de recuperación de condensado en las áreas de elaboración, sala de máquina y envasado a través de la generación de vapor, de la empresa Cervecera.

El enfoque metodológico empleado en esta investigación es cuantitativo, dado que analiza la realidad objetiva de la empresa. Hernández et al (2014). Su diseño es de campo; ya que se definen las actividades que se llevan a cabo en la Empresa Cervecera, para recolectar la información que permita analizar la situación actual de la empresa. También está enmarcada dentro de una investigación descriptiva; ya que, se observan, identifican y analizan las actividades que se llevan a cabo dentro de la empresa, con el objetivo de determinar los problemas existentes en el proceso de generación de vapor y recuperación de condensado.

Fases de la investigación

Fase I. Diagnóstico de la situación actual en el proceso de generación de vapor y recuperación de condensado.

Para identificar qué impide el retorno del condensado a las calderas, se evalúa el proceso de producción actual de la empresa llevando a cabo las siguientes actividades:

- Recibir información respecto a la situación actual de la empresa en su proceso productivo.

- Observar directamente las actividades realizadas en el proceso productivo.

- Realizar entrevistas informales al personal involucrado (ingenieros de procesos, químicos, mecánicos), instrumentistas y superintendentes del área de envasados específicamente en pasteurización y lavado.

- Elaborar diagrama de operación del proceso.

Fase II. Análisis de la situación actual e identificación de problemas existentes en el proceso de generación de vapor y recuperación de condensado.

Se analiza la información recolectada durante la fase anterior, realizándose entre otras las siguientes actividades:

- Diagrama de Flujo.

- Planeación sistemática de la distribución en planta.

- Colaboración del personal que labora en el proceso de generación de vapor y recuperación de condensado.

Fase III. Diseño de propuestas de mejoras en el proceso de vapor para la recuperación de condensado.

En esta fase se diseña la propuesta cuyo objetivo es recuperar y retornar hacia las calderas el condensado, planteando como:

- Generar alternativas de mejora desde el alcance de la Ingeniería Industrial, considerando los métodos y equipos apropiados para la recuperación y retorno del condensado.

- Rediseñar las tuberías que intervienen en el proceso de recuperación de condensado.

- Evaluación de las opciones de reemplazo o actualización de equipos.

Fase IV. Determinación del impacto económico para la propuesta de mejoras planteadas.

En esta fase se analiza:

- La inversión inicial para llevar a cabo las propuestas.

- Los beneficios que se obtendrán al implementar las propuestas.

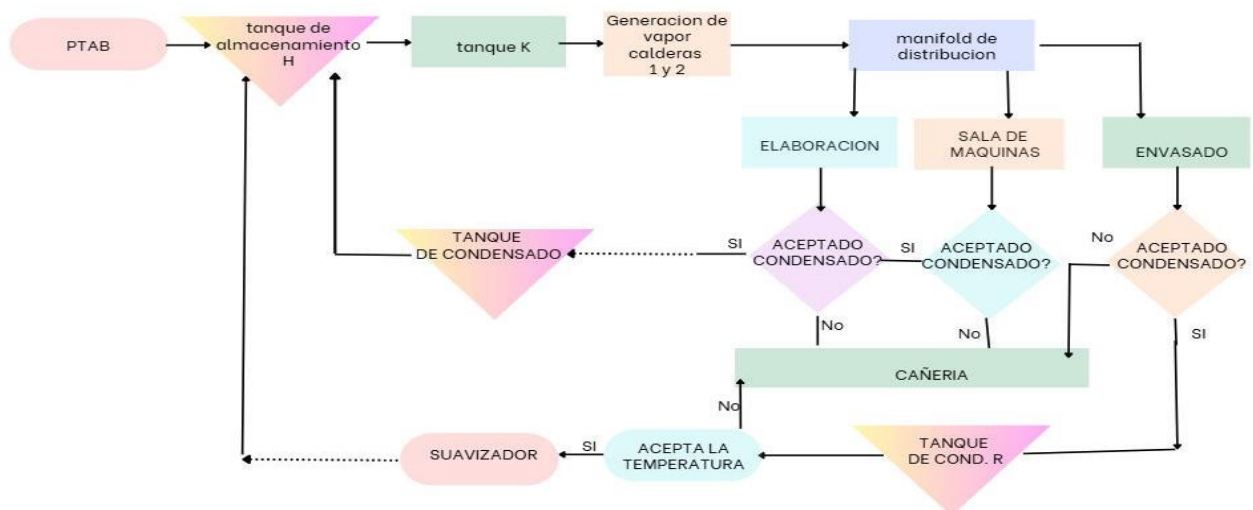
- El tiempo de recuperación de inversión de cada una de las propuestas.

RESULTADOS

Antes del proceso de generación de vapor, primero se debe tratar el agua cruda que proviene de los pozos, se hace pasar por el filtro de arena para retener las partículas sólidas y suspendidas presentes en el agua. Esta pasa por el filtro de carbón activado que se encarga de retener las moléculas o iones, eliminando el olor o sabor que esta

pueda traer. El agua después atraviesa el filtro suavizador, cuya función principal es eliminar el carbonato y bicarbonato de calcio y minerales contenidos en el agua. Seguidamente, pasa por un Desalinizador que elimina la sílice presente en la etapa anterior. En la figura 1 se aprecia un flujograma del Sistema de vapor que se describe.

Figura 1. Flujograma del Sistema de vapor



Posteriormente, en el filtro de descarbonatación se añade ácido sulfúrico para regenerar las resinas de los filtros CNP, con los que se utilizan resinas catiónicas débiles y regenerados con ácido sulfúrico. Se eliminan la dureza carbonatada del agua cruda, preparándose para la siguiente etapa de suavización. Finalmente, el agua pasa por suavizadores, filtros de intercambio iónico con resinas catiónicas fuertes. Estas resinas regeneradas con sal industrial retienen los iones de calcio y magnesio, que son los principales responsables de la dureza del agua. El resultado es agua con "cero durezas". Una vez tratada, el agua se almacena en el tanque H donde se precalienta mediante la mezcla con condensado de agua de caldera, producto del intercambio térmico del vapor saturado.

El calor generado en el hogar de la caldera eleva la temperatura de estas tuberías, produciendo vapor saturado a una presión de entre 8 y 9 bar. Finalmente, este vapor saturado se distribuye a través del manifold, (también llamado colector de vapor o dispositivo que centraliza el suministro de vapor proveniente de la caldera) a los puntos de consumo del área de elaboración, envasado y sala de máquinas.

El sistema de generación de vapor de la cervecera consta de 4 calderas: 2 operando de forma continua para cubrir la demanda base que son 889.508 kg/día, y la otra en modo de apoyo para picos de consumo. Se cuenta con una reserva para activarse en caso de falla de alguna de las otras o que

alcance su presión máxima de 11 bar. Esta caldera siempre está presurizada preparada para el arranque. Habitualmente, las cuatro calderas utilizan gas natural como combustible, pero pueden operar también con otras fuentes de energía como el gasoil. La presión debe nivelarse para que todas las calderas trabajen a la misma.

El sistema de recuperación de condensado cuenta con varias tuberías de recuperación provenientes de las áreas de envasado elaboración y servicios industriales hasta llegar a los tanques recolectores de condensado. Antes de retornar al tanque de recuperación de condensado, procedente del área de elaboración y sala de máquinas, y con una capacidad de 10.50 m³, solo se recupera 2.4 m³. Para ello, deben cumplirse con ciertos parámetros para su almacenamiento y posterior reutilización en las calderas.

Análisis de los parámetros para el tanque de condensado en el área de elaboración y envasado

Apoyado en lo propuesto por Franco y Russo (2002) y Robinson (2002) sobre el análisis de parámetros operacionales se observó un consumo de vapor en el área de elaboración de 177.900 kg/día y representa un 20% del total entregado del sistema (889.508 kg/día) de este consumo total. El mismo representa un 30% de recuperación de condensado que retorna nuevamente hacia las calderas. Este condensado debe cumplir con los siguientes parámetros de aceptación, para su recuperación, pH: 8,5-10,0, conductividad: < 20 μ S/cm, dureza $\leq$ 0.3 ppm, alcalinidad M < 7ppm).

Al observar que el condensado que estaba almacenado en un tanque de unos 40m³ de capacidad, del área de elaboración estaba contaminado con soda caustica, obstaculizando su retorno se envía

directamente a cañería. Debido a esto, se realizó un estudio a cada uno de los CIP para verificar cuál presentaba la falla. Ver tabla 1.

Tabla 1. *Análisis de los parámetros de aceptación presentes en el condensado*

CIP	Conductividad (μS/cm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)	pH	Cumple con Especificaciones
A	657,00	192	2,45	11,72	✗ No cumple
B	15,98	8	0,15	9,66	✓ Cumple (excepto alcalinidad ligeramente alta aceptable).
C	10,96	1,2	0,20	10,96	✓ Cumple (pH alto, pero dentro de rango)
D	7,06	4	0,28	9,09	✓ Cumple

Nota: esta tabla muestra el análisis de los parámetros (alcalinidad, dureza, conductividad y pH), que debe tener el condensado para una óptima recuperación en cada uno de los CIP tomados en la Cervecería.

Hallazgos y Acciones Correctivas

De acuerdo con los resultados reflejados en la tabla 1, se observa que el CIP A presenta contaminación crítica:

- Conductividad extremadamente alta (657 μS/cm vs. <20).
- Alcalinidad 192 ppm (muy superior al límite de 7 ppm).
- Dureza 2,45 ppm (por encima de 0,3 ppm).
- pH 11,72 (fuera del rango 8,5-10,0).

Causa probable: Fuga en el intercambiador de placas, permitiendo el paso de soda debido a la porosidad que presenta el equipo. Principal responsable de la contaminación del condensado, afectando la calidad del agua recuperada para

generación de vapor. Su exclusión temporal del sistema permite mantener la eficiencia del proceso; mientras se realiza la reparación correspondiente, sabiendo que por tal exclusión por contaminación no se estará recibiendo el 25% del condensado proveniente del CIP A. Se recomienda una Inspección técnica del intercambiador de placas del CIP A. Por otra parte, los CIP B presentan una pequeña desviación de alcalinidad de 8ppm y el CIP C, un PH de 10.96, pero estos valores no comprometen la recuperación de condensado. En cuanto a las pailas donde se cocina el mosto con el vapor, el condensado generado al mezclarse con el condensado proveniente de los CIP produce una contaminación total

en el tanque, perteneciente al área de elaboración.

En otro orden de ideas, el área de envasado cuenta con 11 lavadoras y 11 pasteurizadoras que consumen el 75% del vapor generado por las calderas y representa una cantidad de vapor de 667.13

kg/día. Este vapor se distribuye en un consumo del 30% en las lavadoras de botellas y un 45% en las pasteurizadoras. Luego de este consumo, se recupera un 10% de condensado, que se evalúa por el departamento de calidad, dando los resultados que se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. *Análisis de los parámetros de aceptación presentes en las lavadoras y pasteurizadoras*

Equipos	Conductividad (μS/cm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)	pH	Cumple con Especificaciones
LAVADORAS	660,00	195	2,58	12.65	✗ No cumple
PASTEURIZADORAS	15,98	7	0,38	9,05	✓ Cumple (excepto dureza ligeramente aceptable)

Nota: esta tabla muestra el análisis de los parámetros (alcalinidad, dureza, conductividad y pH), que debe tener el condensado para una óptima recuperación en las pasteurizadoras y lavadoras en el tanque R de la Cervecería.

La Alcalinidad de todas las lavadoras de botellas está entre 192-198 ppm, superando el límite de los 7ppm. Esto indica que no se puede recuperar porque está contaminado con soda caustica. Este valor representa un 30% del consumo de vapor entregado a las lavadoras.

En cuanto a las pasteurizadoras, encargadas de pasteurizar la cerveza, malta y caroreña, consumen vapor para controlar el agua a diferentes temperaturas. Este consumo para su proceso de pasteurización genera un condensado de vapor. Por lo tanto, se puede afirmar que el 40% del condensado generado del vapor entregado por las calderas a los pasteurizadores es recuperable.

Análisis de la situación actual

Análisis P – Q y calificación de los trenes

Con la finalidad de utilizar las herramientas de forma más eficientes y simplificar el estudio, se decide realizar el análisis sistemático de manejo de materiales (SHA), que según Muther y Haganäs (1969) es un abordaje organizado y aplicado universalmente a cualquier necesidad de manejo de materiales. En este sentido se extrae que el análisis P-Q (Producto-Cantidad) como una herramienta de análisis que, grafica el volumen de producción (Q) por producto (P), ayudando a determinar el tipo de distribución de planta que se adecúe mejor a la necesidad planteada. Este análisis permite identificar si conviene más elegir un arreglo de distribución por producto

con alto volumen y baja variedad de producción, o un arreglo de distribución por proceso para bajo volumen de producción y alta variedad Muther (1968) citado por Gómez y Núñez (1997), hace una breve referencia sobre los elementos más importantes a considerar en la planificación y distribución de planta. En este caso se concentra el análisis solo al área correspondiente a envasado, ya que ésta ha sido identificada como el área más crítica, dado que presenta mayores inconvenientes en cuanto al retorno de condensado.

A consecuencia de que el vapor es generado en contra pedido, resulta indispensable llevar un control detallado

del consumo de vapor en cada uno de los procesos involucrados en el área de envasado. En este sentido, se realizó un análisis P-Q, que consiste en priorizar clasificando aquellos productos según su nivel o volumen de producción para evaluar entre las alternativas de planificación y distribución, cuál es la más idónea para atender la necesidad detectada (Gómez et al., 1997). Dentro de la cervecería se evaluaron dos aspectos fundamentales: el consumo de vapor requerido para el arranque de cada tren de pasteurización y el consumo continuo necesario durante el proceso de pasteurización de los productos (Ver tabla N°3).

Tabla 3. Consumo de Vapor por Pasteurizadores (Btu/min)

N° de Tren Operativos	Modelo del Pasteurizador	Consumo de vapor-producto (Btu/min)	Consumo de vapor En arranque (Btu/min)
1	BARRY WEHMILLER	48600	109000
2	BARRY WEHMILLER	45700	147000
3	BARRY WEHMILLER	45700	147000
5	BARRY WEHMILLER	45700	147000
7	BARRY WEHMILLER	45700	147000
11	KRONES	49500	108000
12	KRONES	40300	160000
13	BARRY WEHMILLER	45700	147000
14	BARRY WEHMILLER	45700	147000
15	BARRY WEHMILLER	45700	147000
Paster flash	PASTER FLASH	48600	109000

Nota: En la tabla se muestra la cantidad de vapor que consume cada pasteurizador para su arranque y la cantidad de vapor que consume para pasteurizar cada producto. Tomado de la Cervecería

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos, donde se representan los valores de consumo de vapor expresados en Btu/min para cada tren operativo. Se observa que el

consumo de vapor en la etapa de arranque es significativamente mayor que durante la operación continua. Por ejemplo, los trenes 2, 3, 5, 7, 13, 14 y 15 (todos del modelo Barry

Wehmiller) presentan un consumo en arranque de 147.000 Btu/min, mientras que su consumo durante la pasteurización es de 45.700 Btu/min.

En el caso del tren 12, modelo Krones, se evidencia el mayor consumo de vapor en arranque, alcanzando 160.000 Btu/min, y el menor consumo durante la operación es 40.300 Btu/min. Estos datos permiten identificar trenes con alta demanda térmica inicial, crucial para la planificación de la energía que se utiliza en la planta y para

evaluar adecuadamente la capacidad de generación de vapor, especialmente durante el inicio de operaciones.

De manera similar, se llevó a cabo un análisis P-Q orientado a determinar cuáles trenes de pasteurización están recuperando condensado, con el apoyo técnico del especialista en equipos pasteurizadores. A partir de su experiencia operativa, se establecieron estimaciones aproximadas del volumen de retorno de condensado por cada tren operativo. Ver tabla 4.

Tabla 4. Cantidad Aproximada de Condensado (m³/h) que se genera en cada pasteurizador

N° de Tren operativo	Modelo del pasteurizador	Condensado (m ³ /h)
1	BARRY WEHMILLER	8.09
2	BARRY WEHMILLER	7.60
3	BARRY WEHMILLER	7.60
5	BARRY WEHMILLER	7.60
7	BARRY WEHMILLER	7.60
11	KRONES	8.00
12	KRONES	6.70
13	BARRY WEHMILLER	7.60
14	BARRY WEHMILLER	7.60
15	BARRY WEHMILLER	7.60
Paster flash	PASTER FLASH	8.09

Nota: en la tabla se muestra la cantidad de condensado que genera cada pasteurizador para su retorno a las calderas en sala de máquinas. Tomado de la Cervecería

En la Tabla 4, se muestra la cantidad de condensado que debería retornar desde cada pasteurizador, según las especificaciones del fabricante. No obstante, los operadores informaron que no se estaba recuperando el volumen de condensado proveniente del área de envasado requerido por el proceso, refiriéndose a unos 28m³/h. Ante esta

situación, se decidió realizar un estudio en el tanque R, considerando el volumen de dicho tanque. Para ello, se calculó el caudal mediante el método volumétrico, el cual consiste en medir directamente el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido. (ver tabla 5).

Luego de realizar los cálculos, se procedió a analizarlos detalladamente para

identificar los factores que afectan la recuperación del condensado hacia el tanque R. Con el acompañamiento del especialista del área en la Cervecería, se

efectuó un recorrido por el área de envasado, donde se identificaron los equipos consumidores de vapor.

Tabla 5. *Cálculo del caudal de condensado real que llega al tanque R*

Hora inicio	Hora final	Total, en tiempo	Nivel obtenido	Caudal	Trenes
Jueves 21/03 10:00 am	Viernes 22/03 2:00 pm	16 horas	h = 0.50 m	0.063 m ³ /h	05, 11, 14, 15
Lunes 01/04 11:00 am	Lunes 01/04 4:00 pm	5 horas	h = 0.87 m	0.345 m ³ /h	01, 05, 07, 13, 14, 15
Lunes 02/04 4:00 pm	Miércoles 03/04 8:30 am	40 horas	H = 1.94 m	0.0962 m ³ /h	05, 07, 13, 14, 15

Al inspeccionar las lavadoras, se observó que el condensado generado en el proceso se estaba desechando a través de la cañería, debido a su contaminación con soda cáustica. Esta situación ocurre porque el tanque que contiene la soda cáustica en las lavadoras ha perforado las tuberías internas sumergidas en su interior. La soda cáustica, como producto altamente abrasivo, deteriora estas tuberías cuando el vapor las atraviesa para calentar el contenido. Como resultado, el vapor entra en contacto con la soda cáustica, contaminando completamente el condensado. Se estableció que dicho condensado no puede recuperarse, ya que todas las lavadoras presentan el mismo problema. Durante la conversación con el especialista, se explicó que estas lavadoras fueron importadas desde Alemania y

repararlas implicaría una parada total de la planta. Por esta razón, se decidió excluirlas del alcance del estudio de recuperación de condensado.

Por otro lado, se inspeccionaron las pasteurizadoras y sus respectivos tanques recolectores de condensado, cada uno equipado con una bomba de condensado que opera automáticamente mediante un sensor de nivel. No obstante, se constató que los componentes de las bombas —incluyendo motor, eje, sellos y bobinas— están completamente quemados en cada una de las siete pasteurizadoras, lo que impide su funcionamiento. En consecuencia, el condensado acumulado en los tanques es desechado a la cañería, desperdiciándose totalmente.

Durante el recorrido también se verificó el estado de las tuberías de retorno. Se

evidenció que los pasteurizadores 2 y 5 no disponen de conexión a la línea de retorno de condensado. Por ello, se midieron los metros de tubería requeridos para conectar dichos tanques a la línea principal de retorno hacia sala de máquinas. Además, se detectó que el pasteurizador 11 estaba conectado a una tubería diferente, que no corresponde a la línea de retorno de condensado y las otras tuberías tienen largos recorridos.

Finalmente, mediante un medidor de temperatura, se comprobó que el condensado se encontraba a 100 °C, un valor por encima del máximo permitido por el suavizador que se encuentra en el área de sala de máquinas. Su temperatura de entrada debe ser inferior a 50 °C. Por tanto, se obtuvo que era necesario reducir la temperatura del condensado antes de enviarlo al suavizador, con el fin de evitar su deterioro.

Análisis de la situación actual a través de los criterios del análisis de la operación

Los Analistas de métodos recurren al análisis de operaciones para estudiar todos los elementos de una operación, productivos y no productivos para así poder incrementar los niveles de productividad por unidad de tiempo y a su vez reducir los costos unitarios con la finalidad de conservar o mejorar la calidad. (Níebel y Freivalds, 2009). En este sentido, Burgos (2009), también afirma que el análisis de la operación “es un procedimiento empleado por el Ingeniero de métodos para investigar las actividades que Agregan y que No agregan valor a una

tarea, con la finalidad de tratar de eliminar o reducir al mínimo aquellas que no agregan valor.”p53. Así mismo, es importante aprovechar toda la data generada dentro del proceso en estudio para así proponer mejoras y asegurar el uso eficiente de los recursos disponibles, para lo cual existen varios métodos, herramientas o técnicas aplicables para dicho fin. (Montoya-Reyes et al, 2020). Partiendo de estos principios y de los propuestos por Alarcó Bort (2007) se desarrolló un análisis de operación dentro del área de estudio que fundamentan el diseño de las propuestas de recuperación del Condensado.

Propósito de la operación: en la Cervecería son ineludibles las actividades realizadas en las áreas de servicios industriales, elaboración y envasado, generando la necesidad de mejorar el manejo de materiales, para permitir un cumplimiento más eficiente y funcional de las tareas exigidas en cada área mencionada.

Tolerancia y especificaciones: si no se adecuan los márgenes de especificaciones con los parámetros de alcalinidad, pH y dureza, ocurrirán situaciones donde el condensado se contaminará con soda caustica o dureza.

Materiales: aunque existe una planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), que recolecta toda el agua condensada que viene contaminada y que puede ser recuperada. Esta planta de tratamiento está diseñada de manera tal que no cumple con las capacidades exigidas para recuperar esa agua. Por consiguiente, se genera un consumo de aditivos químicos más alto

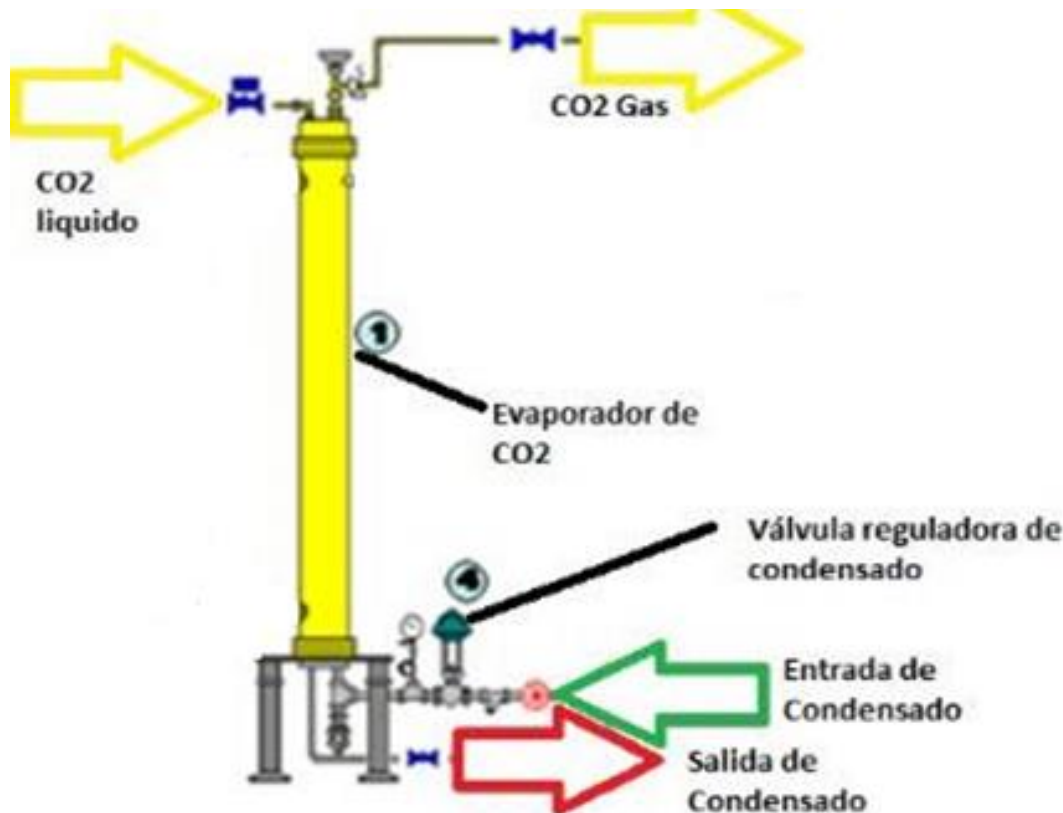
para su limpieza, incurriendo en un uso antieconómico del material.

Equipos, herramientas y tiempo de preparación: debido a que los equipos del área de envasado presentan porosidad, el condensado proveniente de la pasteurizadora presenta trazas de dureza, producto de los intercambiadores dañados, que requieren reparación inmediata para su correcto funcionamiento. Entre los 10 Principios de Análisis de la Operación más relevantes en el estudio y enumerados por Niebel (2014) citado por Montoya-Reyes et al (2020) y Burgos (2009).

Dispositivo de Enfriamiento con CO₂ (Dióxido de Carbono)

Esta propuesta busca reemplazar el vapor, para ello se debe cerrar el suministro de vapor y reemplazarlo por el condensado proveniente del proceso de envasado como fluido de trabajo para la evaporación. El condensado le entrega calor al CO₂ pasando de estado líquido a gaseoso (Noie-Baghban & Majodeian, 2000), y a su vez enfriará el condensado para que entre al suavizador. Este debe estar a una temperatura de 50 °C. Como sugieren Cabanillas (2015), Casarosa et al (2004) y Jabboury & Darwish (1990) en cuanto a los efectos de los parámetros de operación para recuperación y reutilización de vapor (ver figura 2).

Figura 2. Dispositivo de enfriamiento con CO₂



Se propone incorporar un sistema de enfriamiento del condensado mediante un circuito de enfriamiento con amoníaco, que permita reducir la temperatura del condensado de manera controlada antes de su paso por el suavizador. El proceso consta de las siguientes etapas:

Recuperación del condensado: El vapor condensado generado en la caldera se recoge y se canaliza hacia un intercambiador de calor equipado con un circuito de refrigeración por amoníaco.

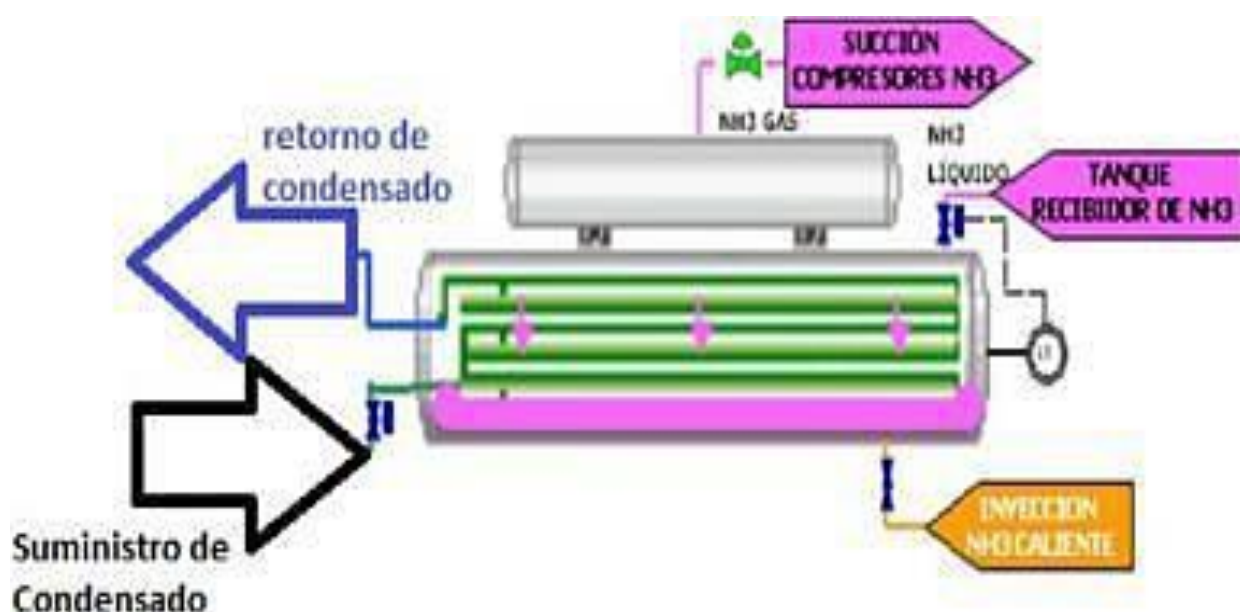
Enfriamiento con amoníaco: El amoníaco, en estado líquido y en un circuito cerrado, absorbe el calor del condensado, reduciendo su temperatura a niveles óptimos para su tratamiento posterior. Este método garantiza un enfriamiento eficiente y controlado, minimizando riesgos de temperatura excesiva.

Paso por el suavizador: El condensado enfriado pasa a través del suavizador, que eliminará posibles impurezas y partículas, protegiendo la resina del equipo, debido a la reducción previa de la temperatura que previene daños por temperaturas elevadas.

Recirculación del condensado: El condensado ya tratado es recolocado en el ciclo de generación de vapor, cerrando el circuito y optimizando la recuperación del recurso.

Antes de poner en marcha esta propuesta, se debe considerar la despresurización de la línea de NH_3 líquido y NH_3 gas, para su posterior vacío. Así podrá trabajar el personal de manera segura sin riesgos de asfixia y quemaduras por contacto directo con el amoníaco. (ver figura 3).

Figura 3. *Dispositivo de enfriamiento vilter*



Reubicación y Reconexión de las Tuberías en el área de Envasado

En la siguiente propuesta se plantea realizar la conexión de las tuberías provenientes del pasteurizador 11; ya que retornan el condensado de manera incorrecta, y disminuir la distancia existente entre los paster 5,7,14 y 15, que ocasiona que este condensado se vaya a la cañería. En cada pasteurizador se debe tomar en cuenta la distribución correcta de las tuberías para el retorno del condensado, la renovación de las bombas que están dañadas. Esto refleja que se está dejando de percibir 15.21 m³/h por jornada laboral de 12 hrs /día 6 días a la semana. Tomando como punto de partida, un punto de carga y descarga en que se moviliza el condensado entre las estaciones de trabajo. Para ello, se han identificado 14 rutas de recuperación, tomando en consideración desde el condensado generado en los

pasteurizadores hasta la tubería de retorno de condensado. Esta información se refleja en la tabla 6. Así mismo, se presenta un estudio realizado en consecuencia de los largos recorridos y alta demanda de uso de las rutas existentes, observándose que hay rutas que están desviadas de manera incorrecta. En la búsqueda del objetivo de recuperación se recomendó realizar un análisis más profundo en relación a la problemática. En tal sentido y tomando en consideración los principios del análisis de relaciones entre actividades apoyados en los parámetros P, Q, S y T antes mencionados, a través del uso de tablas de preferencias o tabla de relaciones se vinculan las diversas actividades propias del área (Gómez y Nuñez, 1997). De este análisis se obtuvo la disposición de las tuberías (ruta) y relación entre éstas, como se aprecia en las tablas 6 y 7. En la figura 4 se presenta lo derivado de este análisis.

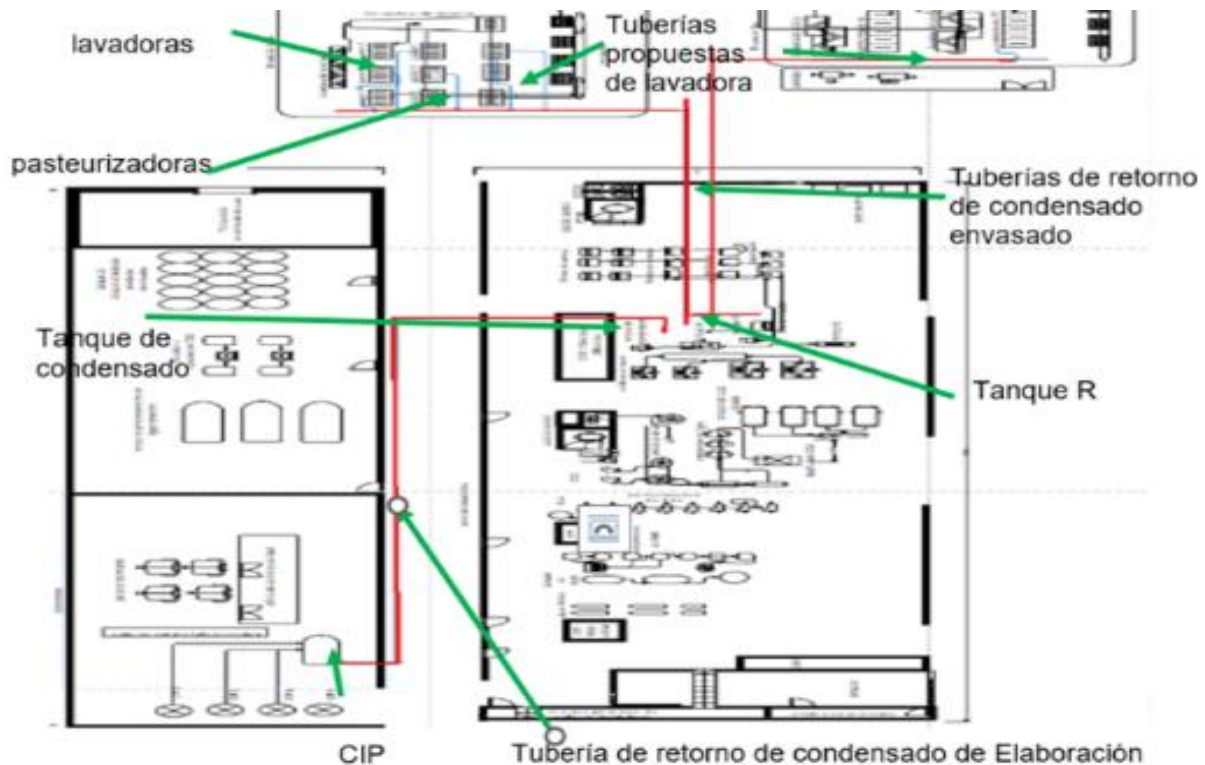
Tabla 6. Hoja de Ruta

RUTA	PUNTO DE CARGA	PUNTO DE DESCARGA	DISTANCIA (metros)
1	Pasteurizador tren 1	Tubería de retorno de condensado	12 metros Diámetro= 2"
2	Pasteurizador tren 2	Tubería de retorno de condensado	14 metros Diámetro=2 ½"
3	Pasteurizador tren 3	Tubería de retorno de condensado	14 metros Diámetro=2 ½"
5	Pasteurizador tren 5	Tubería de retorno de condensado	54 metros Diámetro=4 ½"
7	Pasteurizador tren 7	Tubería de retorno de condensado	25 metros Diámetro=3"
11	Pasteurizador tren 10	Tubería de retorno a otra línea	12 metros Diámetro=2"
12	Pasteurizador tren 12	Tubería de retorno de condensado	30 metros Diámetro=1 ½"
13	Pasteurizador tren 13	Tubería de retorno de condensado	27 metros Diámetro=2 ½"
14	Pasteurizador tren 14	Tubería de retorno de condensado	60 metros Diámetro 2 ½"
15	Pasteurizador tren 15	Tubería de retorno de condensado	80 metros Diámetro 2 ½"
Paster flash	Pasteurizador flash	Tubería de retorno de condensado	14 metros Diámetro=2 ½"

Tabla 7. Definición de tipo de relación

TIPO DE RELACION		DEFINICION
A	4	Alta cantidad anormal
E	3	Alta cantidad especial
I	2	Cantidad importante
O	1	Cantidad ordinaria
U	0	No importante

Figura 4. Layout con la recuperación de las tuberías propuesto



Se puede observar que el layout propuesto presenta una nueva distribución de las tuberías, con líneas de color azul representando el trazado correspondiente al sistema modificado, orientado hacia la línea principal de retorno de condensado.

Esta última se encuentra representada en color rojo y conecta el condensado proveniente de las pasteurizadoras hasta su destino final. Asimismo, se destaca en verde la ubicación tanto del tanque R como del tanque de condensado, elementos claves dentro del sistema de recuperación.

Entre los beneficios cualitativos se mencionan: menor desperdicio de condensado ganándose más tiempo en cuanto a la producción de vapor y la resina del suavizador no se dañará por temperatura. Por otra parte, entre los Beneficios Cuantitativos, se plantea recuperar de un 10% a un 60% del condensado. Se puede recuperar la

inversión en una semana de producción proyectándose un ahorro en los costos de consumo de agua y químicos para la generación de vapor.

Estimación de Costos de las Propuestas

En las tablas 7 y 8, se presentan los costos estimados del material y personal a necesitar.

Tabla 7. Costos estimados del personal a necesitar

Personal	Cantidad	Costo (\$/día-hombre)	Días necesarios	Costo total (\$)
Mecánicos	1	250	3	750
Soldador	1	120	3	360
Ayudante	1	20	3	60

Nota: la tabla muestra los costos del personal a necesitar para la propuesta, tomado de cervecera polar C.A. Año 2024.

Tabla 1. Costos estimados de los insumos o materiales a necesitar

Material	Cantidad	Costo por Unidad (\$)	Costo total (\$)
Electrodos	3 paquetes	12.50	37.5
Lentes	5 unidades	1	5
Guantes	20 unidades	1	20
Mascara Protectora para gases 3M	5 unidades	36	180
Sensor de temperatura (RTD)	1 unidades	18	18
Alquiler de equipo de soldadura	10 días	10	100
Tuberías de acero al carbono de 8"	9 tubos de 6m x 52m	2000	2000
Tubería de 2" amoniaco liquido	4 tubos de 6m x 20m	1800	1800
Tubería de 2" para suministro de NH ₃ g	4 tubos de 6 m *20m	1800	1800
Sensor de nivel	1	132.90	132.90
Válvula mecánica	1	180	180
Medidor de flujo electromagnético	1	480	480
Válvula manual	6	127	762

Nota: estos costos fueron consultados por la página de mercado libre, año 2024

Costo total de Inversión =	Proporción de recuperación del condensado
costo del personal + costo de materiales =	Producción diaria de vapor:
8685,4 \$	889.508 kg/día
Volumen de condensado recuperado diariamente:	Condensado recuperado: 672.000 kg/día
(28 m ³ /h) (24 h/día) = 672 m ³ /día	$(\frac{672.000}{889.508})(100) = 75,54\%$
Como 1 m ³ de agua $\approx$ 1.000 kg:	Esto significa que con esta propuesta
672 m ³ /día=672.000 kg de condensado / día	se estaría recuperando el 75,54 % del vapor generado en forma de condensado.

Tabla 9. Costos estimados de los insumos o materiales a necesitar

Material	Cantidad	Costo por Unidad (\$)	Costo Total (\$)
Máquina de soldar	1	10 por día, durante 10 días	100
Electrodos	20	2.50	250
Guantes	15	1	15
Lentes	12	1	12
Tubería de 12 m de longitud * 2" de diámetro.	2 tubos de 6 metros	3600	3600

Nota: la tabla muestra los costos consultados en la página mercado libre, año 2025

Tabla 10. Costos estimados del Personal a necesitar

Personal	Cantidad	Costo(\$/día-hombre)	Días necesarios	Costo total (\$)
Mecánico	1	250	3	750
Soldador	1	200	3	600
Fabricador	1	200	3	600
Ayudante	1	40	3	120

Nota: la tabla muestra los costos del personal a necesitar para la propuesta, tomado de Cervecería

El Costo total de la Implementación de la Propuesta: 6047\$.

Tiempo de recuperación de la inversión
Estimación de ahorro y tiempo de recuperación de la propuesta 3

Basado en costos de combustible, energía eléctrica y bombeo de bombas, costos operativos provistos por la empresa. Operación continua 24h/día durante 300 días al año.

Recuperación de condensado en el
pasteurizador 11
Caudal máximo recuperado
(8 m³/h) (24 h * 300 días) = 57.600 m³/año
(8 m³/h) (24 h / día) = 192 m³/ día
Masa equivalente en kg
1 m³ ≈ 1000 kg
(192 m³/día) (1000 kg / 1 m³) = 192.000
kg/día
Ahorro en combustible y energía
Proporción del caudal recuperado y
producción total
$$\frac{192.000}{889.508} = (0,2159) (100\%) = 21,59 \%$$

Ahorro diario
(21,59%) (13.440,87 \$/ día) = 2901,
88\$/día (equivalente a agua caliente
recuperada)

Potencia de la bomba en kW
1 HP equivale a 0,746 kW
3 HP ($\frac{0,746kW}{1HP}$) = 2,24 kW
Energía ahorrada = (2.24 kW) (24 h/día)
(44%) = 23.65 kW h/ día
(23,65 kW h / día) (300) (79,78 bs/ kW h)
(0,025 \$ /bs) = 14, 145 \$/ año.
Costo ahorrado
(23.65 kW h/ día) (79.78 bs/kW h)
(0.025\$/bs) = 47,15\$/día
Reducción de bombeo (44% menos de
distancia)
$$TR = \frac{\text{Inversión}}{\text{ahorro}}$$

$$TR = \frac{6047 \$}{2949,05 \$/\text{día}}$$

TR= 2.05 días laborables = 3 días laborables.

CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado permitió identificar las causas que afectan los procesos en el área de estudio. Después de estudiar los parámetros de aceptación se observó que los mismos se encontraban por encima de estos rangos por lo que se tomó en cuenta analizar estos niveles. Los resultados obtenidos permitieron concluir que, debido a una fuga en el intercambiador de placas, su exclusión temporal del sistema permite mantener la eficiencia del proceso, sin embargo, no se estará recuperando el 25% del condensado que proviene de ese equipo. Se realizó el estudio de cuánto condensado se recuperaba en los pasteurizadores y que cantidad llegaba al tanque R durante 1 mes,

información suministrada por la Empresa lo que permitió evidenciar que el volumen de condensado recuperado no es el esperado en condiciones normales de operación, que debe estar en promedio en 28 m³/h, este estudio permitió realizar una comparación con el condensado recuperado actual de la empresa y confirmar las pérdidas de dicho fluido. La aplicación del análisis P-Q permitió clasificar y cuantificar el consumo de vapor y la recuperación de condensado por cada tren de pasteurización, diferenciando claramente los requerimientos térmicos en las fases de arranque y operación continua. Esto hizo posible identificar cuáles equipos tienen mayor demanda energética y cuáles

representan mayores oportunidades de recuperación de condensado.

El criterio de visualización de actividades y rutas de recuperación permitió identificar de forma clara las deficiencias que existen en la línea de retorno de condensado de los diferentes equipos hacia la sala de máquinas. Esta herramienta facilitó la detección de tuberías inexistentes, conexiones erradas, recorridos largos e innecesarios, lo que afecta directamente la recuperación de condensado.

Los criterios del análisis de la operación fueron de utilidad para poder extraer de cada problemática, de las cuales se identificaron equipos fuera de servicio, materiales inadecuados y una secuencia de actividades que no favorece el proceso actual.

La herramienta Diagrama causa – efecto permitió visualizar y describir las principales causas de la baja recuperación de condensado dentro del proceso, en su mayoría encontrándose como principales causas: mano de obra, método, materiales, maquinaria y medio ambiente.

Así mismo se propone como alternativa el enfriamiento del condensado a través del evaporador con CO₂ esta alternativa permite diseñar un sistema eficaz para reducir la temperatura del condensado a 50 °C, requeridos por el suavizador.

La implementación de la propuesta de enfriamiento del condensado mediante un sistema de refrigeración basado en Amoníaco (NH₃), mediante el análisis térmico se demostró que dicho refrigerante posee una elevada capacidad de absorción de calor altamente efectivo para lograr la

reducción de la temperatura de 100 °C a 50 °C, sin comprometer la calidad del agua recuperada.

En términos económicos, la reducción del consumo de vapor indiscriminado equivale a un ahorro de 181.027,78 \$/ día. Con una inversión inicial de 8685.40\$ recuperándose ésta en 1 h de producción. En consecuencia, esta propuesta no solo optimiza el uso energético de la planta, sino que fortalece el ciclo de recuperación del condensado, reduce el consumo de combustible y contribuye directamente a la sostenibilidad operativa del sistema de vapor.

Se realizó una redistribución y reconexión de las tuberías, en el área de los equipos pasteurizadores y lavadoras que se encuentran en el área de envasado, al reubicarla y reconectar las se obtuvo una disminución del recorrido de un 44%.

En los siguientes diseños de propuestas alineadas con criterios técnicos se concluye: Funcionalidad: se propuso el enfriamiento del condensado mediante un evaporador con CO₂ y un sistema alternativo de refrigeración con amoníaco (NH₃), capaces de reducir la temperatura de 100 °C a 50 °C, cumpliendo los requisitos del suavizador sin comprometer la calidad del agua recuperada.

Capacidad térmica: debe dimensionarse para cubrir el caudal máximo operativo (m³/h) especificado por el área de producción. Aunque el compresor se encuentre sobredimensionado, esta condición obedece a que actualmente solo operan 5 de los 14 pasteurizadores disponibles diariamente, con una demanda de vapor de 886.680 kg/día. Se mantiene

este sobredimensionamiento para garantizar que, en caso de que entren en operación los 14 pasteurizadores, la capacidad instalada pueda responder al incremento de la demanda sin limitaciones. Tiempo de proceso: los sistemas propuestos alcanzan la reducción térmica requerida sin generar cuellos de botella en la línea, garantizando continuidad operativa.

Facilidad de operación y mantenimiento: el diseño prioriza un control sencillo, procedimientos de operación claros y accesos directos para limpieza y reparación, reduciendo el tiempo medio de intervención ($MTTR \leq 1$ h).

Facilidad de montaje: el uso de materiales disponibles en el mercado y componentes estándar permite un ensamblaje ágil en planta, con bajo requerimiento de fabricación a medida.

Bajo costo y viabilidad económica: la inversión inicial estimada de 8 685,40 \$/día se recupera en aproximadamente 1 hora de operación, generando un ahorro energético equivalente a 181 027,78 \$/día y

fortaleciendo la sostenibilidad del sistema de vapor.

Impacto global, las propuestas diseñadas reducen pérdidas de condensado, disminuyen el consumo de agua y optimizan el uso del vapor. Cada alternativa evaluada resultó técnicamente viable, económicamente atractiva y alineada con los principios de mejora continua, eficiencia energética y sustentabilidad industrial.

En conjunto, los resultados confirman que la reactivación y optimización del sistema de recuperación de condensado en Empresas Polar, C.A., es factible, rentable y aporta beneficios significativos tanto en ahorro de recursos como en confiabilidad operativa.

Finalmente se evaluó el tiempo de recuperación de cada propuesta planteada, y se determinó que cada una de ellas, es adecuada para disminuir los desperdicios de condensado, reducir el consumo de agua. Y se caracterizan por ser un proyecto factible para su ejecución.

REFERENCIAS

Alarcó Bort, V. (2007). *Diseño de líneas de vapor y condensados en una fábrica de cartón ondulado*. Valencia: UPV.

Noie-Baghban, S. H., & Majodeian, G. R. (2000). Waste heat recovery using heat pipe heat exchanger (HPHE) for surgery rooms in hospitals. *Applied Thermal Engineering*, 20(14), 1271-1282. [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(99\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(99)00092-7)

Jabboury, B. & Darwish, M. (1990). The effect of the operating parameters of heat recovery steam generators on combined cycle/sea-water desalination performance. *Heat Recovery Systems and CHP*, 10(3), 255-267. [https://doi.org/10.1016/0890-4332\(90\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0890-4332(90)90006-6)

Belardi, I., De Francesco, G., Alfeo, V., Bravi, E., Sileoni, V., Marconi, O., & Marrocchi, A. (2025). Advances in the valorization of brewing by-

- products. *Food Chemistry*, 465(1), 141882. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141882>
- Burgos, F. V. (2009). *Ingeniería de Métodos. Calidad y Productividad. 4ta. Reimpresión de la 2da.edición*. Universidad de Carabobo.
- Cabanillas, L. P. (2015). *Análisis de la eficiencia del sistema de tratamiento para la reutilización de aguas residuales de la cervecera Backus* [Trabajo especial de grado, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio USS. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/7343>
- Casarsa, C., Donatini, F., & Franco, A. (2004). Thermoeconomic optimization of heat recovery steam generators operating parameters for combined plants. *Energy*, 29(3), 389-414. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(02\)00078-6](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(02)00078-6)
- Consejo Mundial de la Energía (2010). Eficiencia energética: una receta para el éxito. Consejo Mundial de la energía, recuperado de <https://www.worldergy.org>.
- Franco, A., & Russo, A. (2002). Combined cycle plant efficiency increase based on the optimization of the heat recovery steam generator operating parameters. *International Journal of Thermal Sciences*, 41(9), 843-859. [https://doi.org/10.1016/S1290-0729\(02\)01378-9](https://doi.org/10.1016/S1290-0729(02)01378-9)
- Gómez, A., y Núñez, F. (1997). *Plantas Industriales. Aspectos Técnicos para el Diseño*. Universidad de Carabobo.
- Hernández S., R., Fernández C., C.,y Baptista L., P. (2014). *Metodología de la Investigación. 6ta Edición*. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A.
- Maria, M.P, Hortense T., N., Silva N., V.R., Alves C., T.S., Dattatraya, G. S.,Mulla, S.I., Bharagava, R.N., Bezerra C., E., Romanholo F. L.F. (2023). Current advances in the brewery wastewater treatment from anaerobic digestion for biogas production: A systematic review. *Environmental Advances*, (13), 100394. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100394>
- Montoya- Reyes, M.; González-Ángeles, A., Mendoza-Muñoz, I., Gil-Samaniego-Ramos M.y Ling-López, J. (2020). Method engineering to increase labor productivity and eliminate downtime. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 13(2), 321-331. <https://doi.org/10.3926/jiem.3047>
- Muther, R. & Haganäs, K. (1969). *Systematic Handling Analysis*. Management and Industrial Research Publications.
- Muther, R. (1968). *Planificación y Proyección de la Empresa Industrial. Método SLP*. Editores Técnicos Asociados S.A.
- Niebel, B.W., & Freivalds, A. (2014). *Ingeniería industrial de niebel métodos, estándares y diseño del trabajo (12th ed.)*. McGraw-Hill.
- Robinson, V. (2002). *Boiler blowdown heat recovery project reduces steam system energy losses at Augusta Newsprint*. Office of Industrial Technology Energy Efficiency.
- Rosales, D. (2023). *Propuesta de diseño de un sistema de precalentamiento de aire para la combustión en las calderas de Alimentos Heinz de Venezuela C.A.* [Proyecto de Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico, Universidad José Antonio Páez]. Repositorio Institucional RIUJAP. <https://riujap.ujap.edu.ve/handle/123456789/250>
- Serviss, M. T., Van Hout, D., Britton, S. J., & MacIntosh, A. J. (2025). Brewing for the Future: Balancing Tradition and Sustainability. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 5, 2155-2159. <https://doi.org/10.1080/03610470.2025.2509059>

Autores

María Carolina García. Ingeniero Industrial, Universidad de Carabobo; Magister en Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6384-3185>

Email: prof.ma.carolina.garcia@gmail.com

Adriana Isabel Ramírez Terife. Ingeniero Industrial, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6998-0619>

Email: isabelterife@gmail.com

Mariangel Sánchez Neira Ingeniero Industrial, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8692-2308>

Email: marisanchez1506@gmail.com

Recibido: 30-03-2025

Aceptado: 29-06-2025

Innovaciones organizacionales para la creación de valor en organizaciones de salud: un estudio de caso

Organizational innovations for value creation in healthcare organizations: a case study

Dario Maximiliano Dimarco, Luciana Belén Tabone

Palabras clave: innovación organizacional, creación de valor, servicios de salud, mapeo de flujo de valor

Key words: organizational innovation, value creation, healthcare services, value stream mapping

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el rol de la innovación organizacional en el desempeño y la generación de valor en una organización de servicios de salud mental de la ciudad de Mar del Plata, Argentina. La metodología aplicada comienza con una revisión de la literatura para evaluar las características de las innovaciones organizacionales y su impacto en la creación de valor. Posteriormente, se analizan los procesos y la cadena de valor de la organización utilizando el modelo de Cadena de Valor de Porter, complementado con un mapa de procesos y diagramas de flujo para visualizar las interacciones clave. Los resultados mostraron que las innovaciones organizacionales implementadas incluyeron la adopción de tecnologías de la información y la comunicación en los procesos clave y de apoyo, como también la redefinición de los métodos de trabajo y la estructura interna de la organización. Estas innovaciones mejoraron el desempeño, la gestión de recursos y facilitaron el proceso de transformación digital en la organización. Como resultado, se alcanzó una reducción en los tiempos de ciclo de hasta un 54% y la digitalización del 100% de los procesos.

ABSTRACT

This study aims to analyze the role of organizational innovation in performance and value generation within a mental health service organization in the city of Mar del Plata, Argentina. The applied methodology begins with a literature review to assess the characteristics of organizational innovations and their impact on value creation. Subsequently, the organization's processes and value chain are analyzed using Porter's Value Chain model, complemented by process mapping and flowcharts to visualize key interactions. The results showed that the implemented organizational innovations included the adoption of information and communication technologies in key and support processes, as well as the redefinition of work methods and the organization's internal structure. These innovations improved performance, optimized resource management, and facilitated the digital transformation process within the organization. As a result, cycle times were reduced by up to 54%, and 100% of the processes were digitized.

INTRODUCCIÓN

Para hacer frente a los desafíos de cambio permanente las empresas requieren de nuevos bienes y servicios, procesos productivos, métodos de gestión, estándares de calidad y conocimientos. Es por ello que se necesita innovar, es decir, combinar los conocimientos técnicos y científicos existentes o generar los necesarios para poder introducir novedades que satisfagan a los clientes y que genere una ventaja competitiva para la empresa.

El concepto de innovación y sus métodos tradicionales de medición han estado fuertemente influenciados por la innovación tecnológica, con un enfoque predominante en la industria manufacturera. En contraste, la innovación en las empresas de servicios suele ser menos formalizada, de menor intensidad tecnológica y con un carácter más intangible, organizativo e incremental. Dado el creciente protagonismo del sector servicios en la economía global, resulta fundamental profundizar en el estudio de la innovación dentro de estas empresas (OCDE/Eurostat, 2005; Aboal et al., 2015; Herrera González y Hidalgo Nuchera, 2019). En las últimas tres décadas, el sector de servicios ha crecido más rápido que el de las manufacturas en muchas economías en desarrollo. Las transformaciones económicas impulsadas por el sector servicios abren nuevas oportunidades para la expansión, la innovación y efectos indirectos comparables a los que aumentaron la productividad del sector

manufacturero en el pasado. En 2019, los servicios constituían el 55% del Producto Bruto Interno (PBI) y el 45% del empleo en las economías en desarrollo. En las economías desarrolladas, los servicios representan una porción aún mayor del crecimiento económico, promediando el 75% del PBI (Indermit, 2019).

La ampliación de la perspectiva del concepto de innovación se ha visto reflejada en la tercera edición del Manual de Oslo, que consideran además de las tradicionales, nociones de innovación de producto y proceso, los conceptos de innovación de marketing e innovación organizativa (Arteaga Ampuero, y Flores Urbáez, 2023). Específicamente, las innovaciones organizacionales incluyen cambios sustanciales en la estructura, procesos, prácticas y culturas organizacionales, permiten a las empresas adaptarse a entornos competitivos dinámicos, mejorar la eficiencia operativa y responder de manera más efectiva a las necesidades y expectativas de los clientes (Chen, 2017; Zabaleta Sandoval y Boscán Romero, 2020). En este sentido, este tipo de innovación desempeña un papel crucial en la generación de valor en las empresas de servicios. En la última visión del Manual (OCDE/Eurostat, 2018), se subraya la importancia de las innovaciones organizacionales para la creación de valor y las incluye dentro de las innovaciones de procesos. Las innovaciones en procesos empresariales pueden mejorar considerablemente la eficiencia y

efectividad de las organizaciones de servicios, contribuyendo al crecimiento económico y al bienestar social (Valdés García et al., 2019; Santistevan Villacreses et al., 2022). En particular, las innovaciones organizacionales son fundamentales para adaptar las capacidades internas de una organización a las demandas cambiantes del mercado y para fomentar un entorno que apoye la innovación continua (Canizales Muñoz, 2020; Bravo-Bravo y Herrera-Sánchez, 2023).

Este proceso continuo puede generarse mediante la implementación de innovaciones radicales o incrementales (OCDE/Eurostat, 2018). Las radicales introducen nuevos productos, procesos o prácticas organizacionales que transforman significativamente la producción y la estructura de una empresa (Pardo, 2022). Por otro lado, las incrementales se enfocan en mejoras continuas y graduales de los productos, procesos o métodos existentes, permitiendo optimizar sus recursos, reducir costos y aumentar la eficacia operativa (Gerardo, 2020). Es importante destacar que las innovaciones incrementales son fundamentales para preparar a las empresas para adoptar innovaciones radicales. Sin estas últimas, las incrementales alcanzarían su límite, mientras que las radicales permiten explorar el potencial de un cambio significativo (Marín-García et al., 2021).

Diversos estudios han señalado los beneficios sistémicos que las empresas pueden obtener de la implementación de prácticas de innovación organizativa, tanto

por su impacto directo en el desempeño empresarial y la generación de valor, como por su adopción conjunta con innovaciones tecnológicas (Hervás-Oliver et al., 2014; Hervás-Oliver et al., 2015; Anzola et al., 2015; Chen, 2017; Marín-García et al., 2021; Machuca-Contreras, 2023). El auge de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) ha sido un factor fundamental para los procesos de transformación digital de las organizaciones. Este proceso implica la reinversión de los recursos, prioridades y procesos de una empresa con el fin de adaptarse al mundo actual, empoderado digitalmente (Perkin & Abraham, 2017; Ávila-Guerrero, 2023). Según Páez-Gabriunas et al. (2022), la integración de tecnologías digitales al funcionamiento y operación de los negocios engloba diversas acciones, que van desde adoptar, ampliar o actualizar herramientas y dispositivos para almacenar e intercambiar información, hasta crear o mejorar productos y servicios. En consecuencia, la transformación digital no se limita únicamente a la implementación de nuevas herramientas tecnológicas, sino que implica un cambio fundamental en la forma en que una empresa opera y se relaciona con sus proveedores, clientes, propietarios, colaboradores, competidores y la industria en general, con el fin de agregar más valor a cada una de ellas. De esta manera, los procesos de transformación digital en las organizaciones han demostrado ser un motor clave para impulsar la generación de valor a partir de la adopción conjunta de

innovaciones organizacionales y tecnológicas.

Resulta importante analizar el impacto de la innovación organizativa en los resultados empresariales para determinar si estas prácticas crean valor y como lo hacen (Crossan & Apaydin, 2010; Martínez y Padilla, 2020; García Monsalve et. al., 2021). No obstante, establecer una relación empírica clara entre la innovación organizativa y el desempeño empresarial es una tarea compleja. Esto se debe, en parte, a la naturaleza intrínseca de estas prácticas, que suelen ser complejas y a menudo invasivas, y a las dificultades metodológicas asociadas a la medición de su impacto, lo que genera un alto grado de incertidumbre (Tidd, 2001; Yamakaw y Ostos, 2011; Taques et al., 2021).

Para facilitar la identificación y comprensión de los efectos de la innovación organizativa en el desempeño empresarial, se requiere que las organizaciones adopten filosofías y herramientas que permitan identificar las actividades que generan valor en cada uno de sus procesos.

El modelo de la cadena de valor propuesto por Porter en 1985, es una herramienta estratégica esencial para analizar y mejorar los procesos de generación de valor en las organizaciones. La misma disgrega a la empresa en sus actividades relevantes para comprender el comportamiento de los costos y las fuentes de diferenciación existentes y potenciales. Su aplicación permite identificar fuentes de eficiencia, reducir costos y mejorar la coordinación entre las distintas áreas de la organización.

Además, facilita la detección de oportunidades para agregar valor y diferenciarse competitivamente, al analizar cada eslabón de la cadena y su contribución al resultado final, convirtiéndose en un instrumento clave para la toma de decisiones estratégicas y la mejora continua (Porter, 1985; Kohnová y Salajová, 2023; Lara Martínez, 2024).

Para complementar este análisis a nivel operativo, se pueden emplear herramientas de Lean Manufacturing que permiten comprender de manera sistemática lo que el cliente percibe como valor y eliminar las actividades dentro de los procesos que no contribuyen a su generación (Benitez Lobato, 2012; Vargas-Hernández et al., 2018; Martínez Martínez, 2021). Entre sus herramientas destacadas se encuentra el mapeo de la cadena de valor, conocido como Value Stream Mapping (VSM), que permite una visualización detallada y exhaustiva del desplazamiento de la materia e información, así como componentes y subconjuntos de la cadena de valor, facilitando la identificación y eliminación de actividades que no aportan valor (Guamán Lozano et al., 2018; Patil et al., 2021; Martínez Cerón et al., 2024). La implementación de VSM no solo mejora los procesos internos, sino que también incrementa la agilidad y la capacidad de respuesta de las organizaciones ante las demandas del mercado, otorgándoles una ventaja competitiva significativa (De la Fuente et al., 2013; Delgado-Álvarez et al., 2018; López, 2020).

En este contexto, el presente trabajo toma como caso de estudio a una organización

del sector servicios de la ciudad de Mar del Plata especializada en salud mental. Esta organización sin fines de lucro es una fundación que inició sus actividades en el año 2013. En sus comienzos, la organización no contaba con sistemas de información para gestionar sus procesos. La administración se realizaba mediante registros en papel, hojas de cálculo electrónicas y carteleras, además de informes generados en procesadores de texto, que se almacenaban en la nube para facilitar el acceso a todas las áreas.

A medida que aumentaba la demanda de servicios, se hicieron evidentes las demoras y falencias en la integración, comunicación y coordinación entre las áreas involucradas, lo que impactó negativamente en el proceso de servicio brindado y en la gestión de la institución. En una primera etapa, se generaron retrasos considerables en los procesos de cobro y reclamo de deudas a entidades de cobertura médica (ECM) y, como consecuencia, la organización comenzó a enfrentar problemas financieros, incluyendo una creciente falta

de liquidez que le dificultaba cumplir con sus obligaciones y compromisos asumidos. La crisis se agravó durante la pandemia de COVID-19, cuando la organización tuvo que adoptar rápidamente la modalidad virtual para atender a los pacientes, al tiempo que el personal trabajaba desde sus hogares. Esto aumentó aún más la complejidad operativa y la necesidad de una integración tecnológica adecuada.

Esta problemática generó una serie de cambios en la organización, donde la innovación organizacional ha desempeñado un papel relevante. El objetivo de este trabajo consiste en analizar el rol de la innovación organizacional en el desempeño y la generación de valor en la organización bajo estudio.

Se plantea como hipótesis que las innovaciones organizacionales implementadas en la organización bajo estudio contribuyen a la reducción de los tiempos de proceso, lo que a su vez mejora el desempeño operativo y aumenta su capacidad para generar valor.

METODOLOGÍA

La metodología propuesta se basa en un caso de estudio abordado mediante una investigación mixta, cualitativa y cuantitativa. Inicialmente se analizan datos en forma descriptiva y luego, mediante la aplicación de la herramienta propuesta, se realizan cálculos matemáticos para el desempeño organizacional y generación de valor de las innovaciones analizadas. Los pasos seguidos fueron los siguientes:

1. Se analizan los procesos y la cadena de valor de la organización aplicando el modelo de Cadena de Valor de Porter (Porter, 2005), complementado con un mapa de procesos para visualizar las interacciones clave.
2. Se realiza una caracterización de las innovaciones organizacionales implementadas, utilizando fuentes de información secundaria y recopilando

información primaria mediante la realización de visitas in situ y entrevistas programadas no estructuradas al personal de la organización.

3. En función de los pasos anteriores, se efectúa un análisis comparativo entre el estado previo y posterior a la implementación de las actividades innovadoras para cuantificar la generación de valor resultante. Para ello, se utiliza la técnica VSM según la metodología propuesta por Rother & Shook (2003), la cual ha sido aplicada con éxito en diversos estudios (Carvalho, 2019; Quishpe, 2021; Mudgal et al., 2020; Martínez Cerón et al., 2024). Se utilizan los tiempos de proceso como indicador de desempeño. Este método plantea la realización de los siguientes pasos:

I. Selección de los procesos de la cadena de valor a analizar.

II. Diseño del mapa de flujo de valor del estado actual en el que se encuentran los procesos de la cadena valor seleccionados, con toda la información clave de los mismos, el flujo de material e información y sus variables: tiempo de ciclo, tiempo de atención, tiempo de espera.

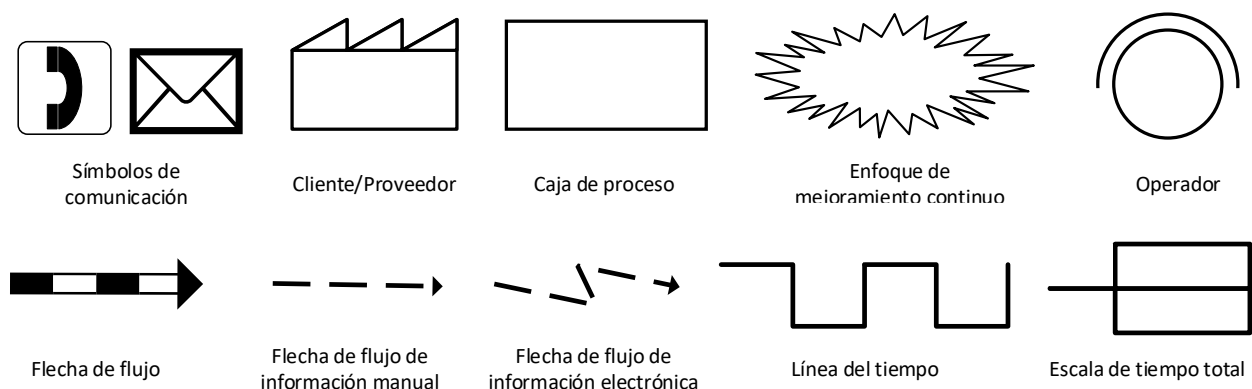
III. Identificación de oportunidades de mejora en función del análisis del mapa actual, con el objetivo de identificar las fuentes desperdicios.

IV. Diseño del mapa de flujo de valor futuro en que se plantean acciones para la mejora de la cadena actual.

V. Análisis comparativo de la situación actual y futura en relación a las variables del proceso y flujos analizados.

La representación gráfica del estado actual y futuro se realiza mediante la utilización de símbolos estandarizados (Figura 1) para la identificación de las diversas actividades de un proceso.

Figura 1. Símbolos de procesos y flujo de información VSM



Fuente: Elaboración propia con base en Rother & Shook (2003)

RESULTADOS

La cadena de valor y los procesos de la organización

La organización bajo estudio es una fundación radicada en la ciudad de Mar del Plata (Argentina) que se dedica a brindar un servicio especializado en salud mental. Proporcionan servicio profesional altamente personalizado según las características y necesidades terapéuticas de cada paciente.

Para el análisis de la cadena de valor es importante detallar tanto las actividades primarias como las actividades de apoyo. Según Porter (1985) el valor total está compuesto por las actividades de valor y el margen. Las primeras son los tabiques discretos de la ventaja competitiva y se dividen en primarias y de apoyo. Las primarias implican la creación física del producto o servicio y su posterior venta y transferencia al comprador. Las de apoyo sustentan a las anteriores, proporcionando insumos comprados, tecnología, recursos humanos, entre otras funciones. A continuación, se describen las características de cada una de ellas en la organización bajo estudio.

Actividades Primarias:

⊗ Logística Interna: abarca los procedimientos de admisión de pacientes, la gestión de historias clínicas y la planificación de las actividades del tratamiento. El objetivo de estas actividades consiste la optimización de los recursos y reducción de los tiempos de espera de los pacientes.

⊗ Operaciones: esta actividad se centra en la prestación de servicios de salud mental según lo planificado, que incluye el diagnóstico y tratamiento de los pacientes y sus familias.

⊗ Logística Externa: una parte esencial de las actividades de la organización es el seguimiento continuo de los pacientes, que garantiza la correcta evolución del tratamiento.

⊗ Marketing y ventas: estas actividades están enfocadas en la promoción de la importancia de la salud mental, la captación de nuevos pacientes y la generación de vínculos con profesionales e instituciones de salud.

⊗ Servicio Postventa: el servicio postventa, en este caso, se traduce en acompañamiento continuo a los pacientes que han finalizado sus tratamientos. Esto incluye programas de reinserción y orientación tanto para los pacientes como para sus familias.

Actividades de Apoyo:

⊗ Infraestructura (Recursos Físicos y Tecnológicos): la infraestructura de una organización incluye desde la adecuada dotación de espacios terapéuticos, hasta el uso de tecnologías que mejoren la eficiencia operativa. Posee dos sedes con el equipamiento necesario para la atención presencial de los pacientes y sus familias. Poseen además un sistema de gestión digital de historias clínicas y administrativo y equipamiento informático para el personal.

⊗ Administración de Recursos Humanos: el capital humano es uno de los activos más importantes en una organización. La contratación, formación continua y bienestar de los profesionales son determinantes para garantizar un servicio de calidad.

⊗ Abastecimiento: la adquisición de los recursos necesarios es una función crítica para asegurar la continuidad operativa de la fundación. Esto incluye la gestión eficiente de los recursos financieros, así como la compra de insumos de oficina, limpieza y para el mantenimiento de la infraestructura de la empresa.

Además de analizar las actividades primarias y de apoyo que componen la cadena de valor interna de la organización, es fundamental considerar su integración

en una cadena de valor sistémica que involucra a diversos actores clave dentro del sistema de salud. Entre estos actores se incluyen los profesionales de la salud mental, las entidades de cobertura médica, las instituciones de salud tanto públicas como privadas, los organismos gubernamentales, los proveedores de insumos, y los propios pacientes. Cada uno de ellos desempeña un papel esencial en la calidad y eficiencia del servicio ofrecido por la organización.

Analizando a la organización bajo un enfoque de procesos, en la Figura 2 se presenta el mapa de procesos de la misma. Esta herramienta gráfica ilustra cómo se interrelacionan los procesos estratégicos, clave y de apoyo dentro de una organización (Del Prado Martínez & Esteban Navarro, 2016).

Figura 2. Mapa de procesos de servicio de salud mental de la organización



Como se puede observar, la organización cuenta con tres procesos estratégicos que proporcionan directrices a los demás procesos y son realizados por la Gerencia. Estos definen los objetivos que persigue la organización en relación a la políticas y estrategias de calidad y servicio al cliente, comerciales y financieras. Los procesos clave u operativos son los que permiten prestar el servicio al cliente y abarcan los procesos de admisión, actividades terapéuticas y médicas. Estos procesos son esenciales para los clientes (pacientes) y tienen un impacto directo en el agregado de valor ya que la mayoría de las actividades que los componen se realizan en presencia del cliente. Por último, se identifican tres procesos de apoyo que brindan soporte a los procesos clave y estratégicos. Estos son Facturación y Cobros, Gestión Comercial y Recursos Humanos.

Las innovaciones organizacionales implementadas

Para comenzar con el proceso de mejora y transformación digital de los procesos la organización, en un trabajo previo se efectuó un análisis de los requisitos necesarios para el diseño de un sistema de información eficiente (Tabone & Mortara, 2022). Este análisis permitió estructurar el problema de manera participativa y colaborativa y definir las prioridades de implementación.

Específicamente se detectaron debilidades en la comunicación interna y falta de integración de datos entre las distintas áreas. Estas falencias impactaban directamente en la eficiencia operativa y en

la capacidad de la organización para brindar un servicio de calidad. A partir de los resultados se decide priorizar la definición de los requisitos para afrontar las debilidades de las áreas Terapéuticas/Médicas, Administración y Finanzas y luego de la Gerencia y Pacientes.

El proceso de implementación de las propuestas de mejora derivadas del análisis de requisitos se tradujo en innovaciones organizacionales para la institución. En función de las prioridades definidas, una primera etapa se comenzó a utilizar un calendario web en Google Calendar para gestionar las entrevistas de admisión y programar las actividades médicas y terapéuticas, que luego fue integrado al sistema de desarrollado para la gestión de pacientes. Dada la celeridad con la que se requería abordar las problemáticas referidas a la gestión administrativa y financiera, se decidió adquirir un software de gestión contable estandarizado y se rediseñaron los procesos de apoyo de facturación, cobro y reclamo de deudas. Paralelamente, se comenzó con el desarrollo e implementación del sistema para la gestión de pacientes, que involucra a los tres procesos clave de la organización.

A continuación, se enumeran las propuestas de mejora efectuadas:

1. Implementación Calendario web para la gestión de Entrevistas de Admisión.
2. Incorporación un software de gestión de información que permita la carga y acceso a Historias Clínicas e informes de manera digital, programar las

actividades médicas y terapéuticas y que contenga el semáforo evolutivo de cada paciente de manera digital.

3. Incorporación de un software de gestión de información que permita automatizar y sistematizar los procesos administrativos y financieros, evitar la duplicidad de carga de datos, generar documentación digital y la disponibilidad de información.

4. Adopción como única modalidad de pago la transferencia o depósito bancario con el objetivo de evitar pérdidas de tiempo y sobrecarga de trabajo al personal.

5. Establecimiento de canales digitales como modalidad de envío de la documentación asociada al proceso de facturación y cobro a pacientes y ECM.

6. Digitalización y gestión ágil del proceso de reclamo de deudas.

A continuación, se analizarán en mayor detalle cada una de estas innovaciones y su impacto en los procesos de la organización.

Evaluación de la generación de valor

Para evaluar la generación de valor se realiza un VSM de los procesos clave y el apoyo abordado, para comparar la situación previa y posterior a la implementación de las innovaciones organizacionales.

Los datos relativos al desempeño de los procesos fueron obtenidos de los relevamientos y análisis de los procesos realizados en trabajos previos (Tabone et al., 2020a; Tabone et al., 2020b; Tabone & Mortara, 2022; Tabone et al., 2023; Tabone & Mortara, 2024).

En las Figuras 3, 4 y 5 se presentan los VSM de los procesos en su estado inicial y en las Figuras 6, 7 y 8 los VSM luego de la implementación de las innovaciones organizacionales.

Figura 3. VSM inicial proceso de admisión

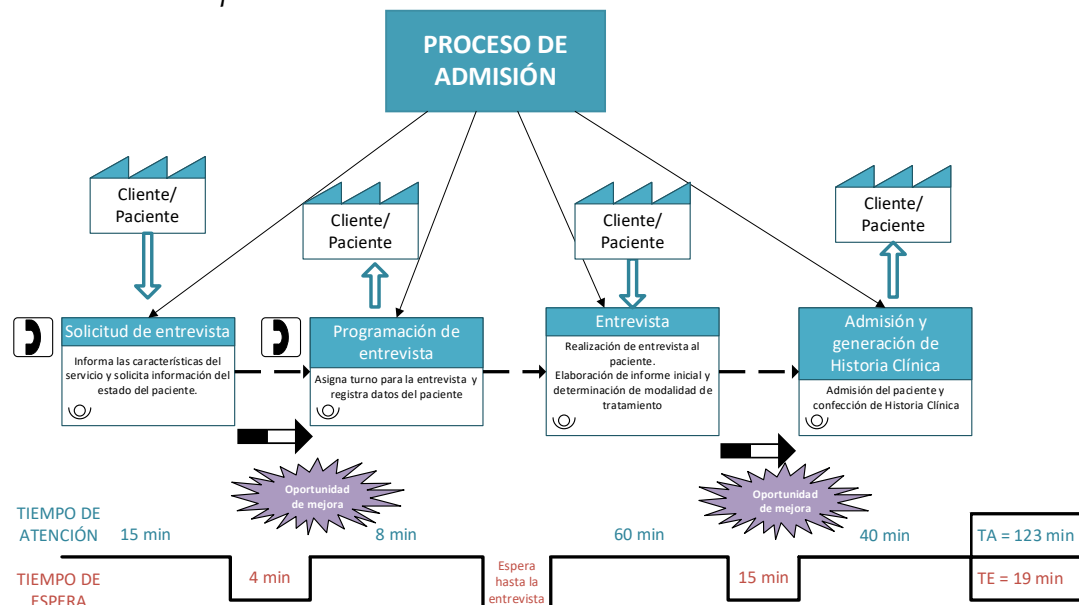


Figura 4. VSM inicial proceso de facturación, cobro y reclamos

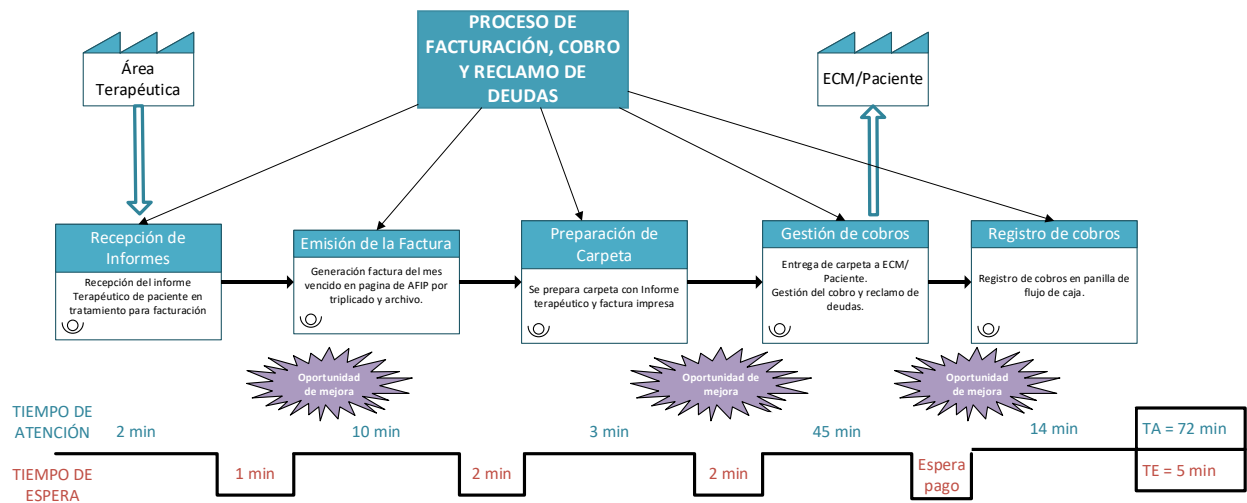


Figura 5. VSM inicial procesos terapéuticos y médicos

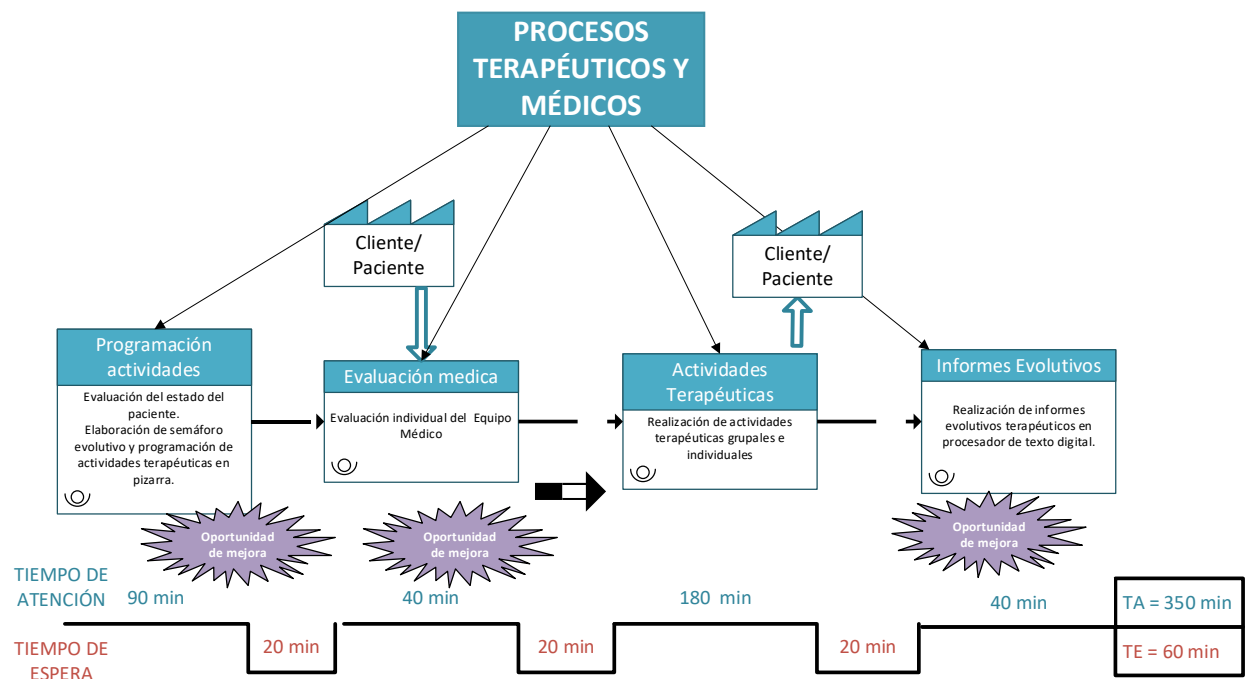


Figura 6. VSM proceso de admisión actual

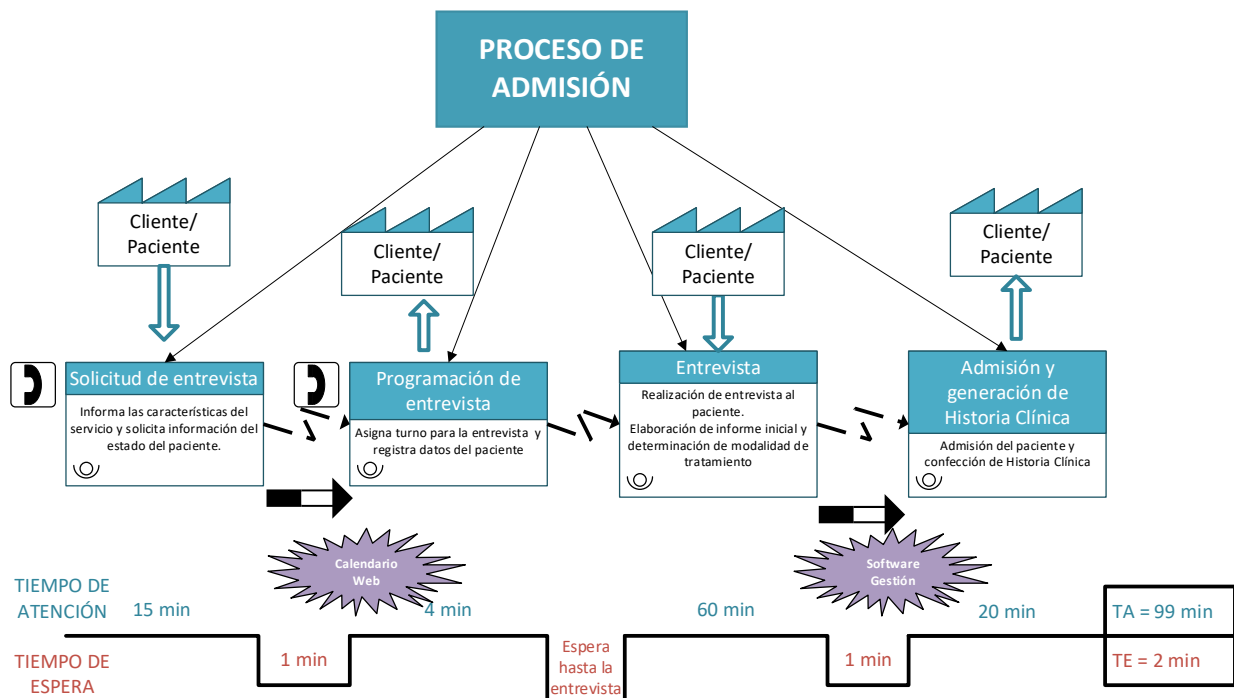


Figura 7. VSM proceso de facturación, cobro y reclamos actual

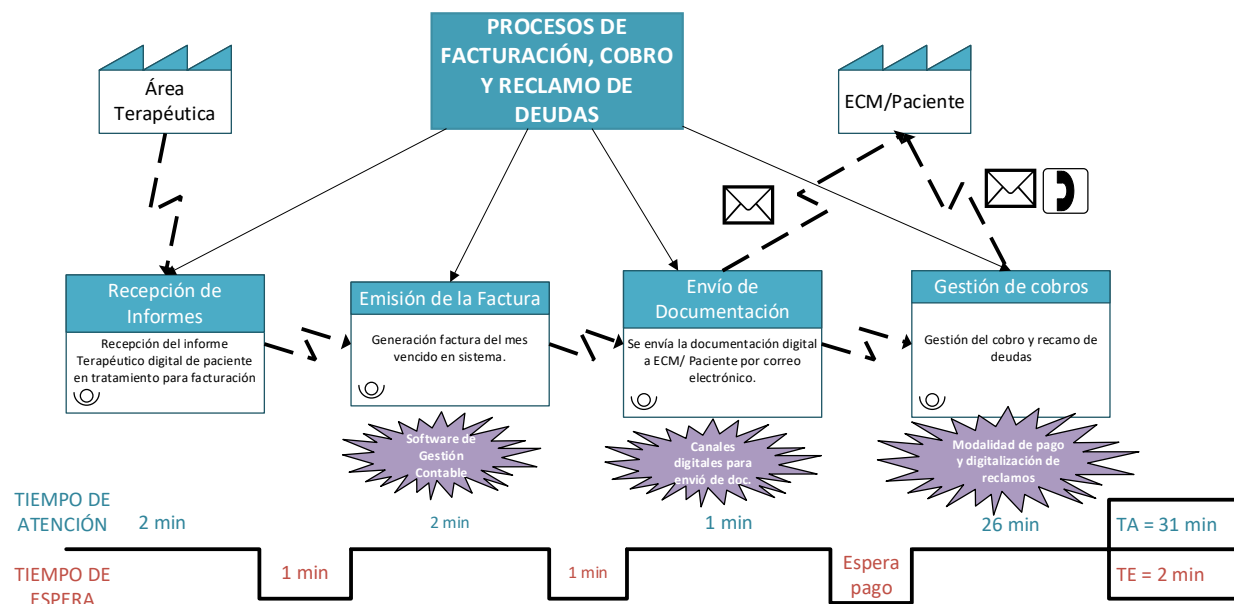
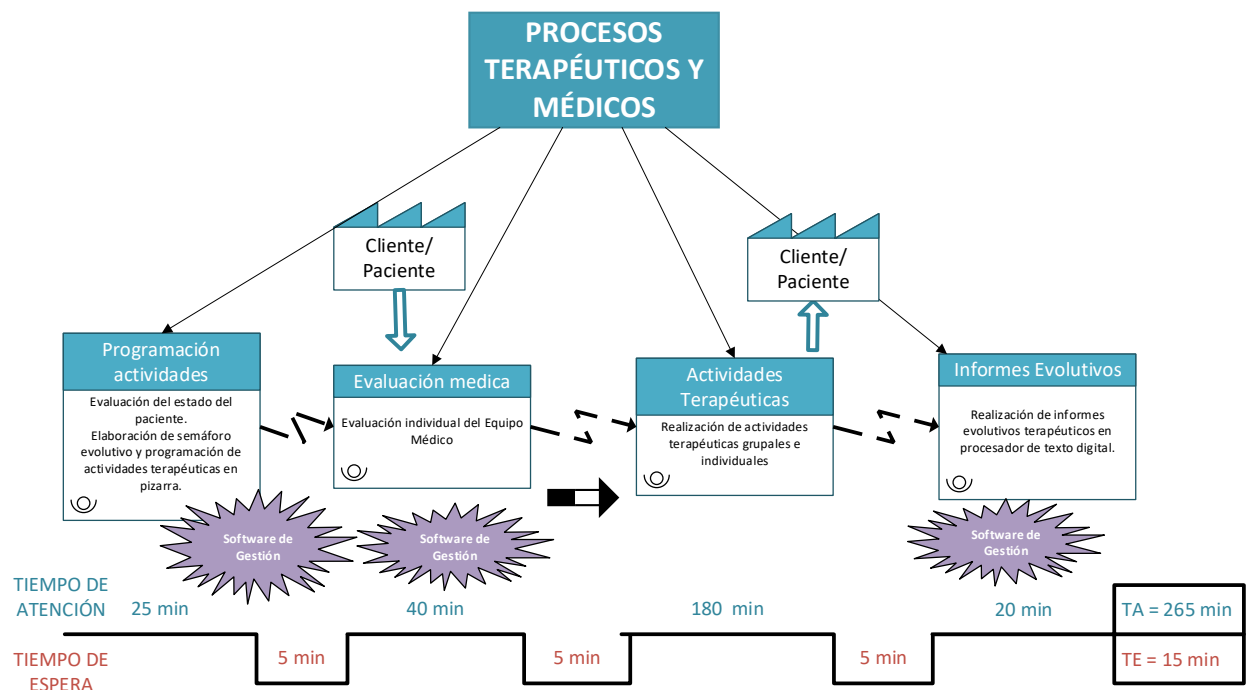


Figura 8. VSM procesos terapéuticos y médicos actual

El análisis comparativo de la situación inicial y actual, en relación a las principales variables del proceso, se presenta en la tabla 1. La generación de valor se mide en términos de mejora en el desempeño organizacional y las variables analizadas

son la reducción porcentual para los indicadores de tiempo de atención, tiempo de espera y tiempo de ciclo. Para el porcentaje de flujo de información digital se mide en términos de aumento porcentual de dicha cantidad.

Tabla 1. Análisis comparativo de los procesos

Proceso	VSM	Tiempo de atención	Tiempo de espera	Tiempo de ciclo
Admisión	Inicial	123 min	19 min	141 min
	Actual	99 min	2 min	101 min
Facturación, cobro y reclamos	Inicial	72 min	5 min	77 min
	Actual	31 min	2 min	35 min
Admisión	Inicial	350 min	60 min	410 min
	Actual	265 min	15 min	280 min

Todas las innovaciones implementadas han permitido la digitalización el 100% de

la información y han logrado disminuir los tiempos de proceso de forma considerable.

En el proceso de admisión, la reducción de los tiempos de atención, de espera y de ciclo fue de un 19,51%; 89,47% y 28,37% respectivamente. En el proceso de facturación y cobros se evidencia una disminución de 56,94% en el de atención, 60% en el tiempo de espera, y 54,55 % en el de ciclo. Por último, en el proceso terapéutico y médico el tiempo de atención disminuyó un 24,29%, mientras que el de espera y de ciclo un 75% y 31,71% respectivamente.

Análisis de las innovaciones organizacionales implementadas

Las innovaciones organizacionales implementadas han generado mejoras importantes en la eficiencia operativa, la gestión financiera y la calidad del servicio, vinculándose directamente con las innovaciones tecnológicas y la transformación digital.

En relación a los procesos clave, se ha implementado una innovación radical con el desarrollo de un software especializado que ha transformado positivamente la manera en que se gestiona el servicio. Esta innovación, completamente nueva para la organización, ha permitido integrar los datos de manera más efectiva, mejorando la calidad del servicio y facilitando la toma de decisiones. Este cambio ha sido un pilar en la transformación digital de la organización, al redefinir completamente la forma en que se gestiona la información y los servicios de atención al paciente. Por otro lado, la implementación de un calendario web para gestionar las entrevistas de admisión es una innovación

incremental que ha mejorado el proceso de admisión de pacientes. Si bien esta herramienta ya es ampliamente utilizada, su incorporación es reciente para la organización y ha permitido una planificación y control más efectivos del proceso y su flujo de trabajo. La sinergia con las TIC es evidente, ya que la digitalización de los procesos clave ha permitido mejorar la eficiencia y coordinación interna.

En el caso de los procesos de apoyo Administrativos y Financieros, la adopción del software de gestión contable y un tablero Kanban virtual no es una novedad en el sector, pero ha constituido una innovación de impacto operativo para la organización. La digitalización y automatización de estas tareas, han eliminado la duplicación de actividades, mejorado la regularidad en los cobros y facilitado el trabajo colaborativo. La naturaleza de esta innovación es incremental, ya que mejora un proceso preexistente sin cambiar radicalmente su estructura. Al igual que en los procesos clave, existe una clara sinergia con las TIC. La unificación de la modalidad de pago a transferencias o depósitos bancarios ha simplificado el proceso de cobro, reduciendo las variantes innecesarias y mejorando el control financiero. Esta innovación es incremental y no implica un cambio tecnológico directo, pero su digitalización ha mejorado el flujo de pagos e información.

Discusión

Los resultados del VSM han podido verificar la hipótesis de este trabajo, al comprobar que las innovaciones organizacionales implementadas han logrado reducir los tiempos de los procesos analizados, mejorado así su desempeño y generando valor tanto para los clientes como para la organización.

Investigaciones previas han destacado que la adopción de innovaciones organizacionales mejora la competitividad, eficiencia operativa y calidad del servicio, al tiempo que reduce los costos y tiempos de proceso (Martínez y Padilla, 2020; Zabaleta Sandobal y Boscán Romero, 2020; García Monsalve, 2021; Santistevan Villacreses et al., 2022; Arteaga Ampuero y Flores Urbáez, 2023). Asimismo, diversos estudios han demostrado que la aplicación de la metodología VSM permite identificar ineficiencias y mejorar los procesos en diversos entornos (Guamán Lozano et al., 2018; Carvalho, 2019; Patil et al., 2021; Quishpe, 2021; Martínez Cerón et al., 2024). Los resultados obtenidos en este trabajo refuerzan estos hallazgos, evidenciando reducciones en los tiempos de ciclo de hasta un 54% y la digitalización completa

de los procesos analizados a partir de la adopción de innovaciones organizacionales.

Varios autores han subrayado que la sinergia entre innovaciones organizacionales y tecnológicas es un factor clave para la transformación digital y la generación de valor en las empresas (Marín-García et al., 2021; Páez-Gabriunas et al., 2022; Machuca-Contreras, 2023). En línea con estas afirmaciones, se ha podido demostrar que la incorporación conjunta de estas innovaciones ha permitido una gestión más ágil y eficiente, optimizando los recursos disponibles y mejorando la toma de decisiones en la organización bajo estudio.

Si bien los resultados obtenidos son consistentes con la literatura existente, futuras investigaciones podrían profundizar en el análisis de los efectos a largo plazo de estas innovaciones y explorar su aplicación en otras organizaciones del sector salud. Además, el impacto en la experiencia de los pacientes y en la calidad percibida del servicio podría ser objeto de estudios adicionales para evaluar el alcance integral de estas mejoras.

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido analizar el impacto de las innovaciones organizacionales en la organización bajo estudio, demostrando que la combinación de estas innovaciones ha sido fundamental para mejorar el desempeño organizacional

y la generar valor tanto para la fundación como para sus clientes.

En primer lugar, las innovaciones implementadas en los procesos clave han introducido nuevos métodos para la gestión operativa y de la información, lo que ha resultado en una mejora en la calidad del servicio ofrecido. Por su parte, las innovaciones en los procesos de apoyo

han incrementado el desempeño de la gestión financiera de la organización, un aspecto crucial para garantizar su solvencia y sostenibilidad futura.

La sinergia entre las innovaciones organizacionales y tecnológicas ha sido factor decisivo en este proceso de transformación. La incorporación de TIC ha permitido la automatización de procesos, mejorando la precisión en la gestión de datos y facilitando una toma de decisiones ágil y en tiempo real. Esta integración ha demostrado ser eficaz para reducir los tiempos de atención y espera, aumentar el aprovechamiento de los recursos humanos y mejorar el flujo de información tanto interno como externo.

El análisis de la cadena de valor y el mapeo de los procesos han permitido obtener una visión global del funcionamiento de la organización. En particular, el VSM ha

demostrado ser una herramienta de gran utilidad para representar gráficamente el flujo de valor, visualizar rápidamente las principales etapas del proceso y evidenciar las mejoras en el desempeño.

Se concluye que la implementación conjunta de innovaciones organizacionales y tecnológicas ha permitido una creación de valor tanto para la organización como para sus clientes. Estas innovaciones, alineadas con un proceso de transformación digital, han fortalecido las capacidades internas de la organización, incrementado su competitividad y asegurado su sostenibilidad a largo plazo. De este modo, la organización se encuentra mejor preparada para enfrentar los retos futuros y continuar ofreciendo servicios de calidad en un entorno que demanda agilidad, eficiencia y adaptación constante.

REFERENCIAS

Aboal, D., Arias Ortiz, E., Crespi, G., Garda, P., Rasteletti, A., Rubalcaba, L., Vairo M., & Vargas, F. (2015). *La innovación y la nueva economía de servicios en América Latina y el Caribe: Retos e implicaciones de política*. Centro de Investigaciones Económicas. <http://dx.doi.org/10.18235/0006495>

Anzola, P., Bayona-Sáez, C., & García-Marco, T. (2015). La generación de valor a partir de innovaciones organizativas: Efectos directos y moderadores. *Universia Business Review*, (46), 70-93. <https://journals.ucjc.edu/ubr/issue/view/116/648>

Arteaga Ampuero, J. M., & Flores Urbáez, M. J. (2023). Innovación organizacional y su relación con el desempeño de empresas públicas

ecuatorianas. *Revista Venezolana de Gerencia*, 28(Edición Especial 10), 1056-1074. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.e10.12>

Ávila-Guerrero, F. M., Bernal Díaz, I. V., & Monroy Gómez, D. A. (2023). Transformación Digital Empresarial: Revisión de producciones investigativas 2017 – 2021. *Revista Venezolana de Gerencia*, 28(101), 282-296. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.101.18>

Benítez Lobato, M. (2012). *Análisis y mejora de los procedimientos de una empresa de ingeniería eléctrica*. [Tesis de grado, Universidad de Sevilla]. Repositorio E-Reading ETSI. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/30176/>

Bravo-Bravo, I. F., & Herrera-Sánchez, M. J. (2023). Tendencias Globales del Liderazgo

- Transformacional en Empresas Modernas. *Horizon Nexus Journal*, 1(2), 14-31. <https://doi.org/10.70881/hnj/v1/n2/15>
- Canizales Muñoz, L. D. (2020). Elementos clave de la innovación empresarial. Una revisión desde las tendencias contemporáneas. *Revista Innova ITFIP*, 6(1), 50-69. <http://revistainnovaitfip.com/index.php/innovajournal/article/view/78>
- Carvalho, C., Carvalho, D., & Silva, M. (2019). Value stream mapping as a lean manufacturing tool: A new account approach for cost saving in a textile company. *International Journal of Production Management and Engineering*, 7(1), 1-12. <https://doi.org/10.4995/ijpme.2019.8607>
- Chen, J. (2017) Towards New and Multiple Perspectives on Innovation. *International Journal of Innovation Studies*, 1(1), 1-4. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1440.101001>
- Crossan, M., & Apaydin, M. (2010). A Multi-Dimensional Framework of Organizational Innovation. *Journal of Management Studies*, 47(6), 1154-1191. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2009.00880.x>
- De la Fuente, M.V., Alonso, M., Hontoria E., & Ros, L. (2013). Mejora del Sistema Productivo mediante Value Stream Mapping. Aplicación a una Empresa de Diseño. Book of *Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management - XVII Congreso de Ingeniería de Organización*. España: Grupo INSISOC, Universidad de Valladolid. <https://silo.tips/download/mejora-del-sistema-productivo-mediante-value-stream-mapping-aplicacion-a-una-emp>
- Del Prado Martínez, M., & Esteban Navarro, M. (2016). Propuesta de un Modelo de Sistema Integrado de Gestión de la Información Documental para las Organizaciones. *Revista General de Información y Documentación*, 26(2), 387-415. <https://doi.org/10.5209/RGID.54708>
- Delgado-Álvarez, N., Covas Barela, D., & Martínez Curbelo, G. (2018). Aplicación del mapa de flujo de valor (value stream map-vsm) a la gestión de cadenas de suministros de productos agrícolas: un caso de estudio. *Identidad Bolivariana*, 2(1), 119-135. <https://doi.org/10.37611/IB2ol1119-135>
- García Monsalve, J., Tumbajulca Ramírez, I., & Cruz Tarrillo, J. (2021). Innovación organizacional como factor de competitividad empresarial en mypes durante el Covid-19. *Comuni@cción: Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo*, 12(2), 99-110. <https://doi.org/10.33595/2226-1478.12.2.500>
- Gerardo Díaz, G. M. d. R. (2020). *Innovación incremental abierta con Blockchain para desarrollar competencias de emprendimiento en MOOC de energía*. [Tesis de maestría, Tecnológico de Monterrey]. Repositorio Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. <https://hdl.handle.net/11285/636616>
- Guamán Lozano, A., Miño Cascante, G., García Flores, A., & Moyano Alulema, J. (2018). Implementación de un Modelo Value Stream Mapping para Incrementar la Productividad y Calidad en una PYMES. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 10, 1-22. <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/10/implementacion-modelo-valuestream.html>
- Herrera González, R., & Hidalgo Nuchera, A. (2019). Dinámica de la gestión de la innovación de servicios y co-creación en empresas del sector economía digital. *Contaduría y administración*, 64(1), 1-20. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2018.1802>
- Hervás-Oliver, J., & Sempere-Ripoll, F. (2015). Disentangling the influence of technological process and product innovations. *Journal of Business Research*, 68(1), 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2014.04.010>

- Hervás-Oliver, J., Sempere-Ripoll, F., & Boronat-Moll, C. Process innovation strategy in SMEs, organizational innovation and performance: a misleading debate? *Small Business Economics*, 43(4), 873-886. <https://doi.org/10.1007/s11187-014-9567-3>
- Indermit, G. (2021). *Banco Mundial. A su servicio: Las economías en desarrollo apuestan por el sector de servicios para crecer*. World Bank Blogs. <https://blogs.worldbank.org/es/voices/su-servicio-las-economias-en-desarrollo-apuestan-por-el-sector-de-servicios-para-crecer>
- Kohnová, L., & Salajová, N. (2023). Impact of Industry 4.0 on Companies: Value Chain Model Analysis. *Administrative Sciences*, 13(2), 35. <https://doi.org/10.3390/admsci13020035>
- Lara Martínez, O. R. (2024). La cadena de valor en las empresas: The value chain in businesses. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(5), 1702 – 1715. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i5.2736>
- López, X. (2020). *V.S.M: Herramienta Clave de la Mejora Continua Metodología y Aplicación*. [Tesis de magíster, Universidad Católica de Córdoba]. Repositorio institucional de la UCC. http://pa.bibdigital.uccor.edu.ar/2805/1/TM_Lopez_Ximena.pdf
- Machuca-Contreras, F., Canova-Barrios, C., & Castro, M. F. (2023). Una aproximación a los conceptos de innovación radical, incremental y disruptiva en las organizaciones. *Región Científica*, 2(1), 202324. <https://doi.org/10.58763/rc202324>
- Marín-García, A., Gil-Saura, I., & Ruiz-Molina, M. (2021). ¿Cómo afecta la innovación en la satisfacción y la lealtad hacia el establecimiento minorista? *Estudios Gerenciales*, 37(161), 622-635. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2021.161.4603>
- Martínez Cerón, A., Hernández-Gracia, T. J., Duana, D., & Martínez, E. (2024). Proceso productivo aplicando el Value Stream Mapping en la industria del plástico. *Revista Venezolana de Gerencia*, 29(106), 568-580. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.29.106.7>
- Martínez Martínez, A. (2021). Implementation of Lean Manufacturing through the Reconstruction of its Trajectory: An Experience of an Auto Parts Company in Mexico. *Análisis Económico*, 36(93), 99-118. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcs/ae/2021v36n93/martinez>
- Martínez, J., & Padilla, L. (2020). Innovación organizacional y competitividad empresarial: centros estéticos de turismo de salud en Cali-Colombia. *Revista de Ciencias Sociales*, 26(2), 120-132. <https://doi.org/10.31876/rsc.v26i2.32428>
- Mudgal, D., Pagone, E., & Salonitis, K. (2020). Approach to Value Stream Mapping for Make-To-Order Manufacturing. *Procedia CIRP*, 93, 826–831. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.084>
- OCDE/Eurostat (2005). *Manual de Oslo: Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*. (3ª ed.). OCDE. <https://doi.org/10.1787/9789264065659-es>
- OCDE/Eurostat (2018). *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation*. (4ª ed.). OCDE. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- Páez-Gabriunas, I., Sanabria, M., Gauthier-Umaña, V., Méndez-Romero, R., & Rivera Virgüez, L. (2022). *Transformación Digital en las Organizaciones*. Editorial Universidad del Rosario. <https://doi.org/10.12804/urosario9789587848366>
- Pardo, H. (2022). *Fomento a la creación de procesos de innovación radical en empresas PYMES de desarrollo software en Colombia*. [Tesis de maestría, Universidad de los Andes] Repositorio Uniandes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/>

[core/bitstreams/9a9dd85f-2a9e-4f42-bd95-4bb185243076/content](https://core.bitstreams/9a9dd85f-2a9e-4f42-bd95-4bb185243076/content)

Patil, A. N., Pisal, M. M., & Suryavanshi, C. T. (2021). Application of value stream mapping to enhance productivity by reducing manufacturing lead time in a manufacturing company: A case study. *Journal of applied research and technology*, 19(1), 11-22. <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2021.19.1.1488>

Perkin, N., & Abraham, P. (2017). *Building the Agile Business Through Digital Transformation*. Kogan Page Publishers.

Porter, M. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press.

Porter, M. (2005). *Estrategia y Ventaja Competitiva*. Ediciones Deusto, Grupo Editorial Planeta.

Quishpe, F. (2021). Análisis y optimización en la producción de envases de cartón, empleando el value stream mapping. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(3), 536-542. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v13n3/2218-3620-rus-13-03-536.pdf>

Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to See: Value-Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute.

Santistevan Villacreses, K., Jefferson Manzaba Ronquillo, I., & Mendoza Lucas, M. (2022). La innovación organizacional y su impacto en el desarrollo micro empresarial de la ciudad de Jipijapa. *RECIMUNDO*, 6(1), 109-119. <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/1633>

Tabone, L., & Mortara, V. (2022). Modelo para la Definición de los Requisitos de un Sistema de Información en una Organización de Salud de Mar del Plata, Argentina. *Ingeniería Industrial*, (42), 159-181. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n42.5705>

Tabone, L., & Mortara, V. (2024). Digitalización

de procesos financieros mediante la implementación de la metodología ágil Kanban. *AACINI - Revista Internacional de Ingeniería Industrial*, 4(1), 16-27. <https://riii.fi.mdp.edu.ar/index.php/AACINI-RIII/article/view/108>

Tabone, L., Mortara, V., & Dimarco, D. (2023). Metodología Ágil para el Desarrollo e Implementación de un Sistema de Información en una Organización de Servicios. *AACINI - Revista Internacional de Ingeniería Industrial*, 2(3), 8-23.

<https://www3.fi.mdp.edu.ar/otec/revista/index.php/AACINI-RIII/article/view/59>

Tabone, L., Mortara, V., Zanfrillo, A., & Dimarco, M. (2020a). Agregado de Valor Mediante Incorporación de TIC's al Proceso de Facturación y Cobro en una Organización de Salud. *Actas XIII Congreso de Ingeniería Industrial – COINI 2020*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: eduTEcNe. <https://ria.utn.edu.ar/bitstreams/3fa4d288-d1dc-4cf9-ae6a-ec37ac05e795/download>

Tabone, L., Mortara, V., Zanfrillo, A., & Morcela, A. (2020b). Mejora del proceso de seguimiento de cobros y reclamos en una organización de salud mediante simulación dinámica. *Actas XIII Congreso de Ingeniería Industrial – COINI 2020*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: eduTEcNe.

<https://ria.utn.edu.ar/bitstreams/3fa4d288-d1dc-4cf9-ae6a-ec37ac05e795/download>

Taques, F., López, M., Basso, L., & Areal, N. (2021) Indicators used to measure service innovation and manufacturing innovation. *Journal of Innovation & Knowledge*, 6 (1), 11–26. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2019.12.001>

Tidd, J. (2001). Innovation Management in Context: Environment, Organization and Performance. *International Journal of Management Reviews*, 3(3), 169-183. <https://doi.org/10.1111/1468-2370.00062>

Valdés García, C., Velásquez Y., & Boza Valle, J. (2019). Reflexiones sobre definiciones de innovación, importancia y tendencias. *Avances*, 21 (4), 532-552.

<https://www.ecovida.cu/index.php/publicaciones/article/view/488>

Vargas-Hernández, J., Jiménez Castillo, M., & Muratalla-Bautista, G. (2018). Sistemas de Producción Competitivos Mediante la Implementación de la Herramienta Lean Manufacturing. *Ciencias Administrativas*, (11), 81-95. <https://doi.org/10.24215/23143738e020>

Yamakawa, P., & Ostos, J. (2011) Relación entre innovación organizacional y desempeño organizacional. *Universidad & Empresa*, 13(21), 93-115.

<https://revistas.urosario.edu.co/index.php/empresa/article/view/1889>

Zabaleta Sandobal, D., & Boscán Romero, N. (2020) Innovación organizacional: una revisión literaria. *CICAG: Revista Electrónica Arbitrada del Centro de Ciencias Administrativas y Gerenciales*, 18(1), 29-55. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9250510>

Autores

Dario Maximiliano Dimarco. Licenciado en Comercialización y Especialista en Gestión de la Tecnología y la Innovación de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. Docente de la Facultad de Ingeniería y la Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8194-5339>

Email: dimarcomaximiliano@gmail.com

Luciana Belén Tabone. Ingeniera Industrial y Especialista en Gestión de la Tecnología y la Innovación de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. Docente e investigadora del Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3755-5336>

Email: ltabone@fi.mdp.edu.ar

Recibido: 18-12-2024

Aceptado: 30-12-2024

Modelo de gestión de residuos mediante Dinámica de Sistemas orientado al reciclaje para Oberá, Misiones, Argentina

Waste management model using Systems Dynamics for recycling in Oberá, Misiones, Argentina

Sonia Romina Niezwida, Juan Carlos Michalus, Graciela Beatriz Gavazzo

Palabras clave: dinámica de sistemas, gestión de residuos, modelos de simulación

Key words: system dynamics, Waste management, Simulation models

RESUMEN

Este trabajo presenta un modelo de Dinámica de Sistemas para analizar la gestión de los Residuos Sólidos Domiciliarios en la ciudad de Oberá, ubicada en la provincia de Misiones, Argentina. La investigación se enmarca en un contexto del crecimiento poblacional, incremento en la generación de residuos y la necesidad de adoptar estrategias sostenibles a nivel municipal. El modelo ha sido construido utilizando información provista por el programa Oberá Sustentable y otros sectores de la municipalidad durante los años 2023-2024. Con los datos recolectados, se elaboró un diagrama de Forrester en el software Vensim PLE v.10.3.2 y se simularon escenarios, como parte de una línea de investigación relacionada con la toma de decisiones en organizaciones. El modelo incluye variables clave como generación, recolección, aprovechamiento, reciclaje y disposición final, y permite simular escenarios vinculados al reciclaje hasta el año 2030. Los resultados muestran que la implementación de estrategias orientadas al reciclaje podría reducir significativamente el volumen de residuos enviados al relleno sanitario, contribuyendo así a bajar costos, disminuir la huella de carbono y mejorar la sostenibilidad.

ABSTRACT

This study presents a System Dynamics model to analyze the management of Municipal Solid Waste in the city of Oberá, located in the province of Misiones, Argentina. The research is framed within the context of population growth, increasing waste generation, and the need to adopt sustainable strategies at the municipal level. The model was developed using data provided by the "Oberá Sustentable" program and other municipal departments during the years 2023–2024. Based on this information, a Forrester diagram was created using Vensim PLE v.10.3.2 software, and scenario simulations were conducted as part of a research initiative focused on decision-making processes in organizations. The model incorporates key variables such as generation, collection, recovery, recycling, and final disposal, and allows for the simulation of scenarios related to recycling through the year 2030. The results show that the implementation of recycling-oriented strategies could significantly reduce the volume of waste sent to the landfill, thereby contributing to cost savings, a lower carbon footprint, and improved sustainability.

INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos es un desafío creciente para las localidades de todo el mundo debido al incremento de la generación de los desechos y la necesidad de adoptar prácticas sostenibles, consecuencia directa de la globalización y del comportamiento de los pobladores. En este contexto, es primordial contar con herramientas que permitan identificar y optimizar la gestión de residuos en un municipio a largo plazo (Niezwidá et al., 2023).

Desde sus inicios, la simulación se ha convertido en una herramienta valiosa para los responsables de toma de decisiones, ya que permite proyectar escenarios futuros y evaluar el impacto de diferentes estrategias de gestión, pudiendo determinar las influencias entre variables mediante técnicas como la Dinámica de Sistemas (DS) (Forrester, 1981).

Este trabajo presenta un modelo de DS sobre la gestión de los residuos sólidos

domiciliarios, desarrollado para una localidad específica ubicada en la zona centro de la provincia de Misiones de Argentina. Las influencias de variables integran diversos aspectos críticos de la gestión de residuos, conformando una dinámica del sistema, que incluye la tasa de reciclaje, la generación de residuos y el crecimiento de la población, dado que la ciudad analizada es la segunda más grande de la provincia de Misiones, Argentina y posee una tasa de crecimiento poblacional positiva.

Relacionar las variables y establecer las influencias en materia de gestión de residuos en una localidad para un determinado tiempo, permite a los gestores municipales evaluar el impacto de posibles políticas y estrategias planeadas, para contribuir a la toma de decisiones hacia la gestión de residuos sostenible de dicho distrito.

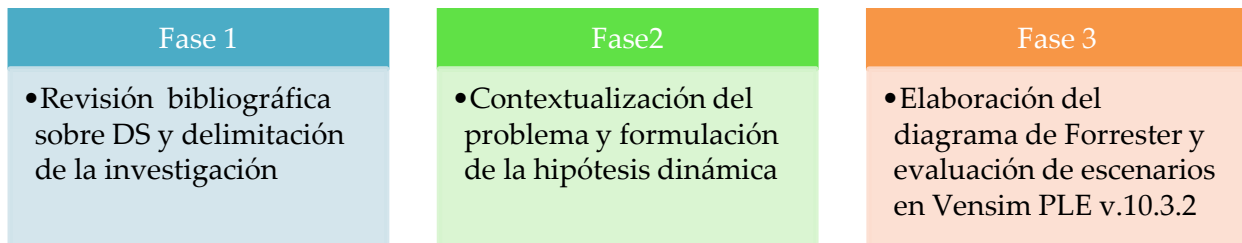
METODOLOGÍA

La metodología adoptada para llevar adelante la presente investigación se resume en la Figura 1. La investigación desarrollada posee un enfoque exploratorio-analítico que busca indagar y comprender fenómenos relacionados a la toma de decisiones, en este caso en particular vinculado con la gestión de los Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD), así como establecer relaciones entre variables desde el punto de vista sistémico. Para ello,

en primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica sobre DS y se delimitó el objeto de estudio: RSD. Luego, se contextualizó el problema y se formuló una hipótesis dinámica que permitió identificar relaciones causales clave. Finalmente, se construyó un modelo *ad hoc* de dinámica de sistemas para la localidad de Oberá, provincia de Misiones, de Argentina como estudio de caso para evaluar su sistema y escenarios futuros. Con datos recabados, se

elaboró un diagrama de Forrester y se implementó el modelo en el software Vensim PLE v.10.3.2, que permitieron simular los escenarios.

Figura 1. Exposición de la metodología para la elaboración de la investigación



RESULTADOS

En esta sección, se describen los resultados obtenidos.

Fase 1: Revisión bibliográfica sobre DS

En este apartado se indagó acerca del método de DS mediante la revisión de libros reconocidos y artículos científicos con el objetivo de comprender el surgimiento, su concepto, alcance y objetivo del método. Seguidamente se describen los principales aportes identificados en la revisión realizada.

La DS tiene su origen en los años 30, cuando se desarrolló la teoría de los servomecanismos, es decir, cuando surgen los instrumentos en los que existe una retroalimentación desde la salida a la entrada (García, 2004). Luego, en la década de los años 50, aprovechando los iniciales avances de la informática, Jay Forrester desarrolla en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) la Dinámica Industrial, publicando en 1961 su obra "Industrial Dynamics" y es considerado el padre del método. Estudió las características de realimentación de la

información en la actividad industrial con el fin de demostrar como la estructura organizativa, la construcción (de políticas) y la demoras (en las decisiones y acciones) interactúan e influyen en el éxito de la empresa (Forrester, 1981).

La DS es un método en el cual se combinan el análisis y la síntesis, suministrando un ejemplo concreto de la metodología sistémica. Provee un lenguaje que permite "expresar las relaciones que se producen en el seno de un sistema y explicar cómo se genera su comportamiento" (Aracil y Gordillo, 1997). Asimismo, usa conceptos relacionados al campo del control realimentado para organizar información en un modelo de simulación por ordenador. Un ordenador ejecuta los papeles de los individuos en el mundo real, tal que la simulación resultante revela implicaciones del comportamiento del sistema representado por el modelo (Forrester, 1998).

Un sistema en sí mismo es intrínsecamente "dinámico", dado que mantiene una

armonía flexible a lo largo del tiempo. Además, es "complejo" porque está formado por una cierta cantidad de elementos, cada uno de los cuales interacciona con sus inmediatos y a veces es difícil estimar lo que pasará en un corto horizonte temporal (Muriello, 2016).

La DS se utiliza en las áreas de economía, medio ambiente, salud, ingeniería, educación y otras, en general para demostrar las políticas públicas, mejorar las organizaciones y sus capacidades, planteando modelos con un horizonte temporal determinado (Arroyo López et al., 2014; Ibarra & Redondo, 2015; Sukholthaman & Sharp, 2016; Jerez Pérez & Abreo Serrano, 2018; Andrade & Vega, 2019; Sanchez Muñoz et al., 2023) mediante la simulación a través de software tales como Simulink, AnyLogic, Stella, Vensim.

En general en la simulación de DS se plantean Escenarios (E), es decir se planifican y alteran las variables del modelo y se determina el comportamiento del sistema. El objetivo de simular escenarios es mostrar implicancias, por ejemplo como en las siguientes investigaciones: "Simulación de un sistema de gestión sostenible de residuos sólidos en la ciudad de Khulna" (Islam et al., 2019), "Un enfoque de dinámica de sistemas para medidas políticas decisivas para la gestión sostenible de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Khulna, Bangladesh" (Rafew et al., 2022); "Planificación de la producción de energía a partir de residuos sólidos urbanos: una combinación óptima de tecnologías mediante un enfoque híbrido de optimización de la dinámica de sistemas

de circuito cerrado" (Hosseinalizadeh et al., 2022), "Evaluación de la fragilidad del sector de residuos municipales en Serbia mediante modelos de dinámica de sistemas" (Jovičić et al., 2022), "Educación continua para la gestión del desperdicio de alimentos: una simulación de dinámica de sistemas " (De Oliveira et al., 2023), "Predicción del tratamiento y la disposición de residuos sólidos urbanos en zonas de gran altitud y bajas temperaturas basada en la dinámica de sistemas: un estudio de caso de Lhasa" (Liu et al., 2023), "Pronóstico y control de residuos sólidos urbanos (RSU) en la ciudad de Kaohsiung, Taiwán, mediante modelado de dinámica de sistemas" Yang, et al., 2024), "Explorando la evolución de la huella de carbono digital de China: una simulación basada en un enfoque de dinámica de sistemas", (Xu et al., 2024), "Combinando la dinámica de sistemas con el análisis energético para alcanzar los objetivos de ciudad cero residuos de China: Una perspectiva metabólica" (Zhao et al., 2025), "Evaluación del impacto de las políticas de la UE en la cadena de suministro de reciclaje: una perspectiva de dinámica de sistemas para el avance de la capacidad de reciclaje de envases" (Nguyen, et al., 2025). Los trabajos explorados, en su mayoría, simularon políticas y con ello los escenarios para determinar el comportamiento de las variables propuestas en el sistema.

Para el caso presentado en este artículo, se analiza y enfatiza en reducir los residuos potencialmente reciclables, los cuales conforman aproximadamente el 30% de los residuos del municipio (llamados también

Residuos Sólidos Urbanos) en cuestión. Por lo tanto, el reciclaje representa una oportunidad económica para los recolectores urbanos y es una posibilidad para disminuir los costos asociados al transporte y la disposición final de materiales reciclables en el relleno sanitario.

Fase 2: Contextualización del problema y formulación de la hipótesis dinámica

Tras completar la fase 1, se procedió a definir las variables involucradas en el modelo para la simulación de gestión de los residuos del municipio (estudio de caso). Para ello, se recabó información relevante y útil hacia la concreción de la investigación, que permitió determinar la relación de las variables (influencias) y con ello el objetivo del modelo.

El objetivo del modelo es simular la gestión de los residuos domiciliarios en la ciudad, específicamente los de tipo sólidos, también llamados RSU (Residuos Sólidos Urbanos) considerando las tasas actuales de aprovechamiento, reciclaje, recolección y disposición final. El enfoque principal de la simulación radica en representar variaciones en el aprovechamiento de materiales residuales potencialmente reciclables, así como su relación con el crecimiento poblacional proyectado para el período comprendido entre los años 2023 y 2030. Por lo tanto, la hipótesis dinámica del modelo desarrollado plantea que un aumento poblacional conlleva a un incremento en la generación de RSU. En consecuencia, si las tasas de reciclaje y reaprovechamiento no alcanzan niveles adecuados, la disposición final de residuos

en el relleno sanitario se incrementará según el crecimiento de la población.

Fase 3: Elaboración del Diagrama Causal y evaluación de escenarios

La identificación variable permitió elaborar el diagrama de influencias también conocido como causal, que es “el conjunto de relaciones entre las variables de un sistema” o estructura del sistema (Aracil, 2008).

En el diagrama de influencias, se incluye las relaciones de variabilidad mediante los denominados “bucles de alimentación” y es el primer paso para establecer relación de variables mediante dichos bucles, que pueden ser positivos (si aumenta la variable a medida que la otra se incrementa) o de alimentación negativa (si aumenta la variable la otra disminuye). Por ello, en el planteamiento del modelo, es importante considerar las variables que pueden ser cuantificadas con nombres representativos ó verbos, sin incluir variables redundantes (para no incurrir en ciclos iguales y sin sentido). También es necesario modelar con niveles de agregación justos y con dinámica (que varían en el tiempo), para ello se utilizó el software Vensim PLE v.10.3.2 en su versión libre y cuyo uso de variables (de nivel, de flujo y auxiliar) se explica a continuación.

Las variables de nivel del modelo, son las que representan cantidades acumuladas o almacenadas en el sistema, tales como los “depósitos” que se llenan o vacían con los flujos, por ejemplo, la Población, los RSU de un municipio, mientras que las variables de flujo describen la tasa de cambio o

transferencia entre los niveles (recolección, aprovechamiento).

Los flujos que entran o salen de los depósitos (variable de nivel) y hacen variar el nivel son "variables de flujo". También, en la representación de un modelo, se tienen las "variables auxiliares", aquellas que aportan información a las variables de flujo y hacen que éstas sean más comprensibles y colaboran con la estructura del modelo tales como tasa de crecimiento, tasa de reciclaje, tasa de aprovechamiento (Forrester, 1998; Sterman, 2000; Aracil, 2008).

El modelo de DS, implícitamente está formado por políticas, que son un conjunto

de reglas, que guían al responsable o modelador, según las cuales selecciona informaciones y genera decisiones (Schaffernicht, 2009).

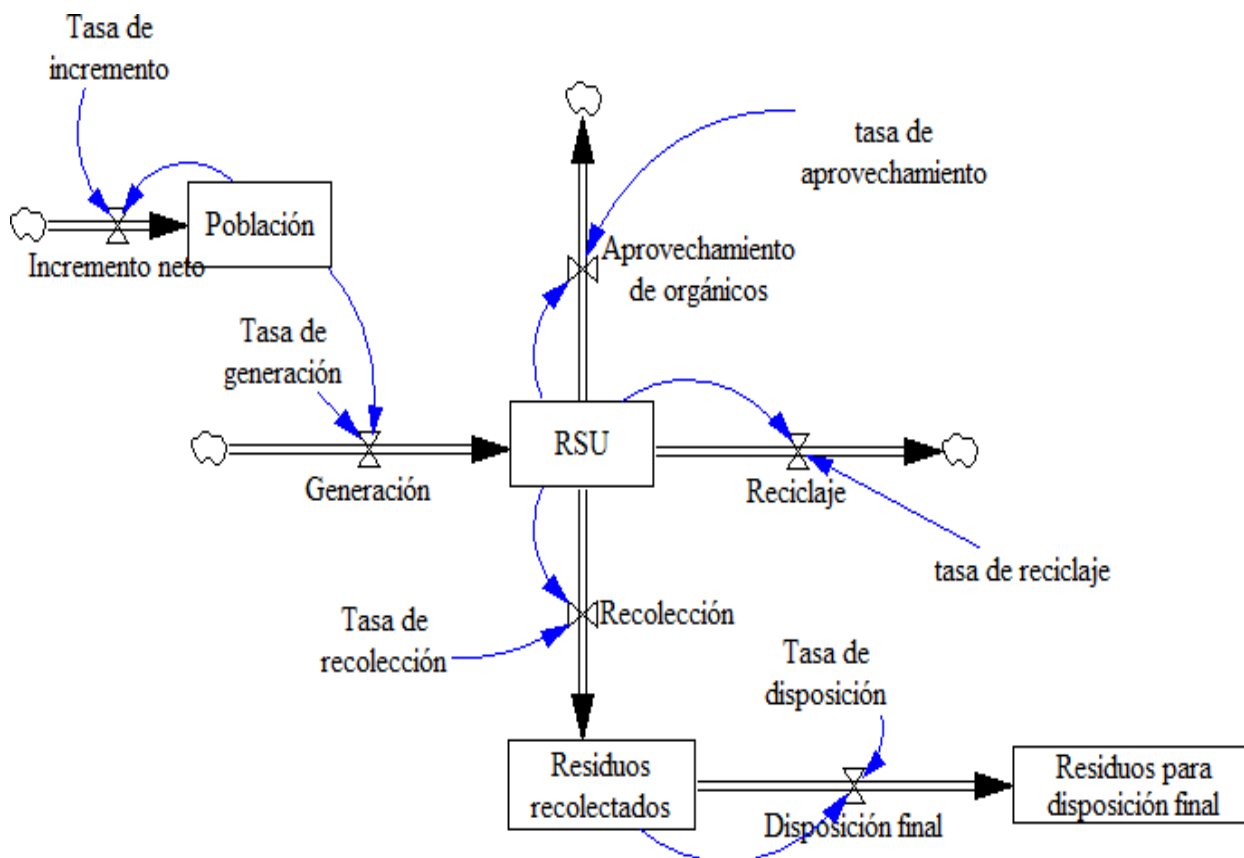
Parte de los datos para elaborar el modelo fueron recabados mediante trabajos de caracterización de los residuos que ha sido realizado el equipo de investigación con agentes de la municipalidad de la ciudad en el año 2023. Para el caso de estudio "gestión de residuos en un municipio" se tuvo en cuenta un conjunto de variables y su relación, las cuales se exponen en la Tabla 1. En la Figura 2 se visualiza el diagrama de Forrester que muestra la relación entre las variables descritas.

Tabla 1. Variables del modelo para el municipio de Oberá, Misiones, Argentina

Variable (V)	Denominación y unidades	Expresión de cálculo	Tipo de variable
RSU	Residuos sólidos urbanos (domiciliarios de municipio en ton/año)	$=\sum[G-AO-RECO-RECICL]$	V nivel
Residuos recolectados	Por empresa o el camión recolector municipal (ton/año)	$=\sum[RECOL-RDP]$	V nivel
Residuos para disposición final	Los que terminan en basurales o rellenos sanitarios (ton/año)	$RDF=\sum DF$	V nivel
Población	P (hab/año)	$=\sum IN$	V nivel
Disposición final	DF		V flujo
Aprovechamiento de orgánicos	AO (ton/año)	$=RSU*ta$	V flujo
Reciclaje	RECICL (ton/año)	$=RSU*tr$	V flujo
Recolección	RECO (ton/año)	$=RSU*trcc$	V flujo
Incremento neto	IN (hab/año)	$=P*ti$	V flujo
Generación	G (ton/año)	$G=tg*P$	V flujo
Tasa de generación	tg [ton/(hab*año)]	constante	V auxiliar
Tasa de aprovechamiento	ta (% /año)	constante	V auxiliar
Tasa de reciclaje	tr (% /año)	constante	V auxiliar
Tasa de recolección	trcc (% /año)	constante	V auxiliar
Tasa de disposición	td (% /año)	constante	V auxiliar
Tasa de incremento	ti (% /año)	constante	V auxiliar

Nota: elaborado con base en Ciplak et al., 2012; Simonetto et al., 2013; Ding et al., 2016; Wang, 2018; Sancheta et al., 2021.

Figura 2. Diagrama de Forrester



Nota: elaborado con Vensim PLE v.10.3.2 a partir de Rodríguez Andrade & Ibarra Vega (2019)

Como se observa en la Figura 2, los bucles de alimentación y relación de variables están dados por los arcos orientados. Por ejemplo, a mayor población, mayor generación de residuos (positivo); el flujo de RSU disminuye si el aprovechamiento de orgánicos aumenta (negativo).

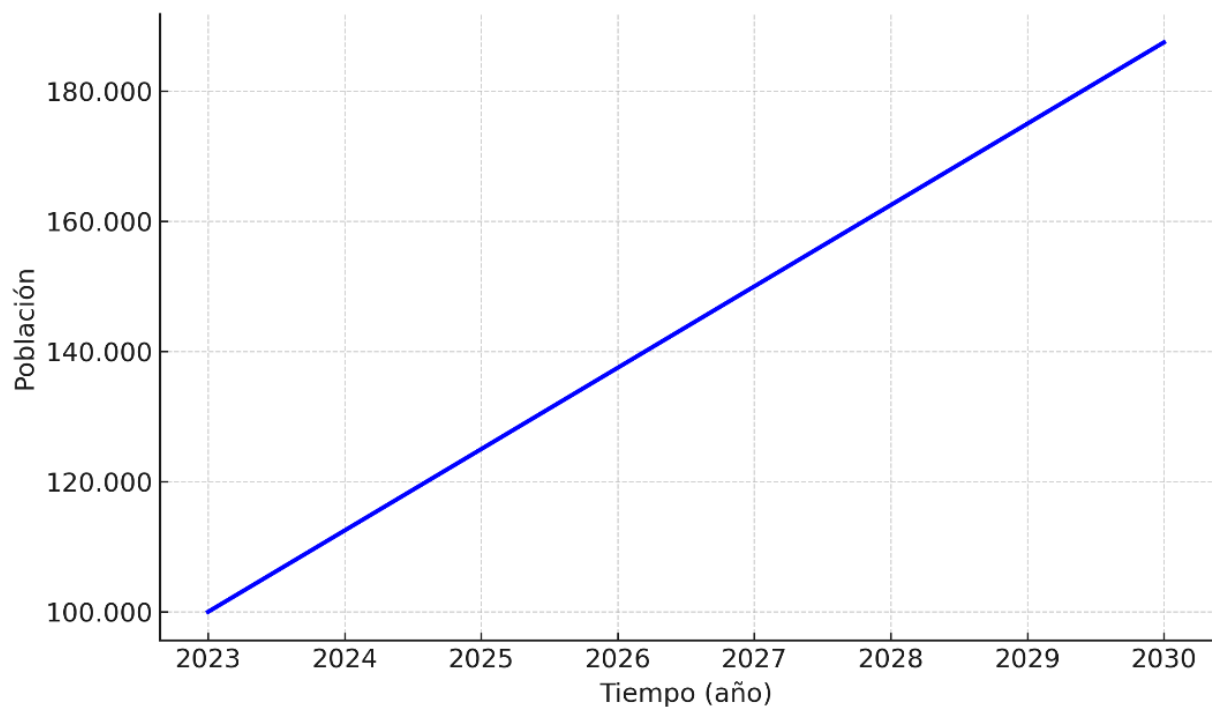
Si la población se incrementa y no se toman medidas para disminuir la cantidad de RSU a disponer en el relleno sanitario, habrá cada vez más RSU: definidos en el modelo como aquellos resultantes después de los procesos de aprovechamiento, para ser recogidos y destinados a disposición final (Figura 2).

El modelo elaborado permite evaluar políticas para la toma de decisiones (Forrester, 1998). Por lo tanto, los RSU pueden variar, por ejemplo, aumentando la separación en la fuente, lo que permitirá dos acciones: la primera, separación y aprovechamiento de reciclables y, por lo tanto, menos RSU (primer bucle de balance, del que se genera otro entre los residuos y el reciclaje); la segunda, más aprovechamiento de material orgánico y menos RSU (tercer bucle de balance, del que se desprende otro entre los residuos y el aprovechamiento).

Los RSU dependen de la generación y comportamiento de patrones de consumo, que a su vez depende de la cantidad de población y su condición socio-económica. En el municipio estudiado gran parte de los RSU generados son recogidos por vehículos recolectores. De esta forma, se crea el quinto bucle de balance, pues entre más residuos acumulados, habrá más recolección, los cuales deben ser llevados a RS. Es así como a mayor cantidad de residuos recolectados, más disposición final debe hacerse, ello permitió formular el sexto bucle del modelo (Figura 2).

Finalmente, si se genera más residuos y el reciclaje es bajo, aumenta la disposición final y habrá mayor cantidad de residuos en el relleno sanitario cada año, dado que la población aumenta, lo que hará que la capacidad del RS colapse en menos tiempo. A partir de los datos (tasa de incremento poblacional) en la Figura 3 se aprecia la evolución de la población en función del tiempo para el periodo simulado (2023-2030) que permite proyectar un incremento de población de aproximadamente 70 %.

Figura 3. Evolución de la población a través del tiempo (2023-2030)



Nota: elaboración propia adaptada de Vensim PLE v.10.3.2

Sin duda, disminuir el volumen de basura que hoy va al relleno sanitario, es un tema urgente.

En el municipio, estudio de caso, se recolecta aproximadamente el 90% de los residuos que se generan, pero, todavía una parte de ellos son abandonados o

depositados en basurales y caminos vecinales (Figura 4).

Figura 4. Microbasural de la región, donde vecinos depositan residuos sólidos domiciliarios de manera intencional



Nota: fuente El territorio.com

Según el Informe de economía circular de Misiones, en el 2023 la localidad manejaba una tasa de aprovechamiento de orgánicos (1%) mientras que los materiales potencialmente reciclables presentaban una tasa de reciclaje mayor, con estimaciones de crecimiento (por arriba del 7%), dado que desde la provincia y el municipio se desarrollan estrategias para aprovechar los residuos mediante

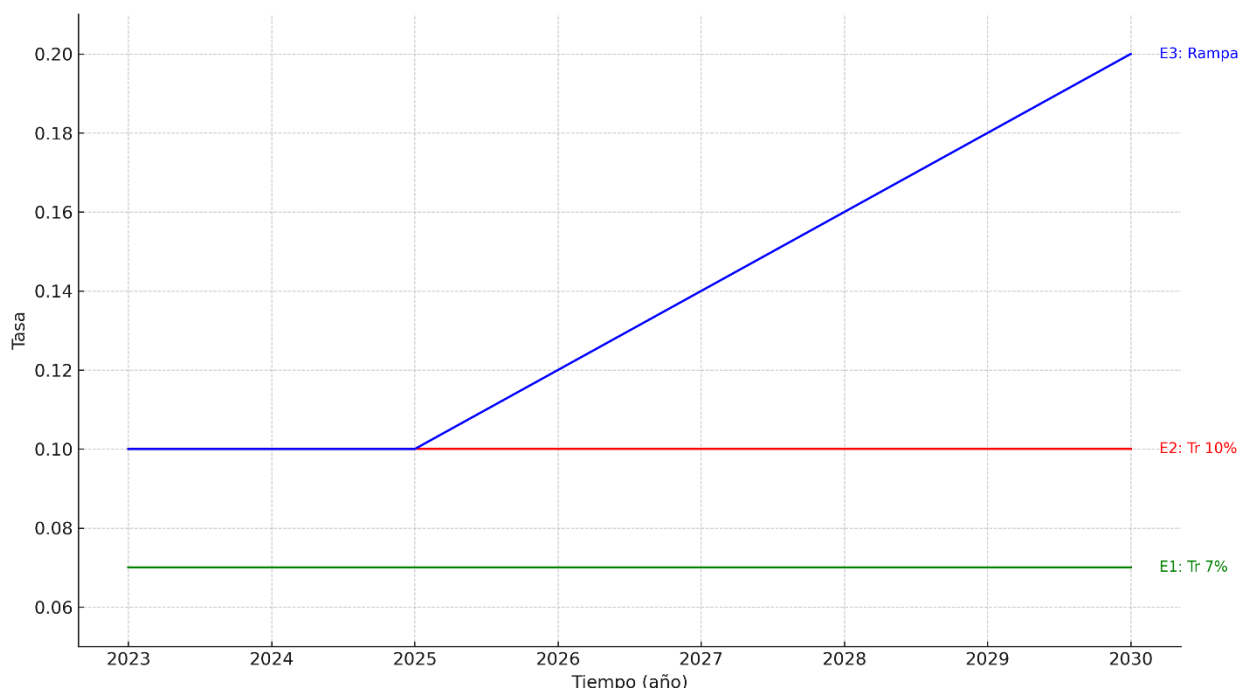
actividades de economía circular (Niezwida & Santacruz, 2024). En éste contexto, la provincia de Misiones posee solamente 2 rellenos sanitarios, uno que atiende a municipios de la zona sur y otra a la zona norte. Claramente ambos rellenos poseen un límite, sin embargo, hoy los mismos se expanden para poder disponer la basura de los municipios a los que atienden, la inquietud está en qué se hará

más adelante con estos miles de toneladas de basura que se están acumulando y ocupando el suelo misionero.

Con base en los datos y supuestos de implementar actividades de economía circular en el municipio, se simularon escenarios con variaciones en la tasa de reciclaje. En el escenario 1 (E1) se considera una tasa de reciclaje constante del 7 % para

todo el periodo simulado; en el escenario 2 (E2) un incremento al 10 %; y en el escenario 3 (E3) se incorpora una función rampa que mantiene una tasa de reciclaje del 10% hasta el 2025 y luego simula un aumento gradual del reciclaje desde el año 2025 y hasta el 2030. Dichas curvas se observan en la Figura 5.

Figura 5. Variación de la tasa de reciclaje



Nota: elaboración propia adaptada de Vensim PLE v.10.3.2

Tal como se observa en las Figura 5, el modelo permitió simular las variaciones en las tasas de reciclaje (tr) a partir de 3 escenarios (E1, E2 Y E3) y con ello se determinó la cantidad de residuos acumulados para el 2030.

Si el municipio mantiene en vigencia las estrategias de recuperación de reciclables,

se logrará la disminución significativa de residuos para disposición final en el Relleno Sanitario (RS) en 20230 y también un ahorro en transporte y a su vez la disminución de la Huella de Carbono (HC), teniendo en cuenta que se generan 2.68 kg CO₂/l diesel consumido. Aproximando que un camión transportador de residuos

consume 0.25l diesel/km recorrido y tomando las toneladas acumuladas para el 2030 según los escenarios planteados se

concretaron cálculos de costo de transporte y HC, los cuales se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Toneladas de residuos acumuladas en 2030 para diferentes tr. Fuente: Elaboración propia mediante datos de la simulación

Time (año)	2030	Costo de transporte	HC por transporte
Residuos para disposición final	t acumuladas (x1000)	USD (x1000)	[ton de CO ₂ eq]
E1: Reciclaje 7%	103.581	229.949	256.777
E2: Reciclaje 10%	100.889	223.974	250.105
E3: RAMPA (10% de reciclaje hasta 2025, luego se incrementa 2% por año)	99.649	221.221	247.030

Nota: elaborada a partir de datos de la simulación, considerando que un camión lleva 20 ton por carga y debe recorrer 74 km desde la Estación de Transferencia hasta el RS. Valor de KgCO₂ eq con base en IPPC (2019)

Cada tonelada de residuo depositada en un relleno sanitario emite entre 600 -1500 kg CO₂eq según su composición.

Teniendo en cuenta que la localidad estudiada está incorporando eco puntos y puntos limpios, si las estrategias persisten, permitirán disminuir el volumen de residuos a disposición final y con ello la HC. Sin embargo, para obtener este valor de HC total generada, es necesario conocer la composición de los RSD a disponer y la mitigación del entorno para determinar las cifras exactas de KgCO₂eq minimizadas (Manfredi et al., 2009, Araujo et al., 2022).

Discusión

El modelo, basado en datos de 2023-2024 de la municipalidad analizada, evidencia la problemática y sugiere que incentivar el reciclaje puede reducir el volumen de

residuos a disponer y con ello los costos financieros y ambientales.

La simulación indicó que para el año 2030 la población se incrementará en aproximadamente un 70 %. En este contexto, si se logra aumentar la tasa de reciclaje, se tendrá una disminución significativa en la cantidad de residuos que deben ser dispuestos en el relleno sanitario. Asimismo, la incorporación de la función rampa a partir del 2025 que significa un aumento en el reciclaje de forma incremental impacta favorablemente en la reducción de los residuos y con ello el costo de transporte y la HC generada.

El modelo de simulación se verificó a través de la revisión de las unidades por cada variable (una a una) y se comprobó la sintaxis mediante la herramienta propia del software. La verificación permitió

demostrar que el modelo representaba lo que se deseó construir.

La validación del modelo busca que el mismo cumpla con el objetivo para el que fué creado. Por lo tanto, el modelo se validó mediante la comparación con datos históricos del municipio a través de la consulta con expertos (Alonso y Álvarez, 2000).

En la validación del modelo, los expertos consultados expusieron sus ideas sobre la gestión y refirieron al actor "Estado" como ente facilitador de la gestión de los residuos del municipio, aunque se subraya la necesidad crítica de interacción entre actores clave —ciudadanos, empresas de recolección, organizaciones civiles y gestores municipales— para una gestión efectiva y sostenible. También destacaron la necesidad de contar con recursos para actividades de economía circular, de crear infraestructura y normativas, donde el Estado debe promover políticas de tipo "quien contamina paga" para internalizar

costos ambientales y reducir residuos en la fuente.

La simulación realizada para el año 2030 proyecta un crecimiento de la población de Oberá, lo que ejerce presión sobre la capacidad de disposición final. Los resultados demuestran que incrementar la tasa de reciclaje es una estrategia viable y urgente para mitigar esta acumulación de los RSU, reduciendo el volumen a disponer en el relleno sanitario. La presencia de microbasurales en la región, también resalta la necesidad de mayor concientización y fiscalización. A pesar de ciertas simplificaciones hechas en el trabajo, la investigación sugiere futuras líneas de trabajo para aprovechar capacidades regionales, tales como modelar un sistema de gestión colaborativa entre municipios con operaciones de compostaje, redes de venta de reciclables, subsidios a barrios sustentables, lo que podría optimizar el desarrollo sostenible regional.

CONCLUSIONES

La dinámica de sistemas es una metodología con gran potencial para simular sistemas complejos, dado que permitió simular la gestión de residuos de un municipio.

En vista al cambio climático, es urgente la incorporación de actividades de economía circular, dado que la cantidad de residuos a disponer dependen directamente de estas actividades. Además, dar un fin adecuado a la basura no solo permite disminuir la

contaminación, sino que previene enfermedades para los pobladores y minimiza costos de recolección y transporte, que hoy es recurso del Estado asignado para tal fin.

El modelo desarrollado resultó ser una herramienta útil al analizar diferentes escenarios y anticipar resultados para toma de decisiones. Se determinó las toneladas acumuladas de RSU según escenarios de reciclaje, donde se evidenció mejoría en la

gestión de residuos al reciclar y disminuir la cantidad de residuos para disposición final, costo y la HC. Por lo tanto, si se logran arraigar estrategias para aumentar el reciclaje en la ciudad estudio de caso, cada año se podrá recuperar más materiales y enviar menos residuos al relleno, lo que es beneficioso para el ambiente y la ciudad.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Oberá Sustentable de la municipalidad de la ciudad de Oberá, de la provincia de Misiones, Argentina por los datos brindados para llevar a cabo el presente artículo, a la estudiante Macarena

La investigación tiene como línea futura utilizar los datos y ecuaciones elaboradas para modelar un sistema de gestión colaborativa más amplio, vinculando municipios de la región de Misiones, Argentina con el objetivo de mostrar que la unión de capacidades puede contribuir al desarrollo local sostenible de las micro-regiones.

Chiara Villalba Auras por la adscripción a la investigación y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET) por financiar parte de la investigación.

REFERENCIAS

Alonso, M. & Álvarez, Y. (2000). *El proceso de validación de los modelos socio-económicos dinámicos* [Documento de trabajo, Universidad de Oviedo]. Repositorio institucional de la Universidad de Oviedo. <http://hdl.handle.net/10651/45735>

Andrade, J. R., & Vega, D. I. (2019). Modelo para la evaluación dinámica de la gestión de residuos ordinarios de la ciudad de Bogotá y su influencia en el índice de calidad ambiental urbana. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2), 143-162. <https://doi.org/10.22490/21456453.2411>

Aracil, J. & Gordillo, F. (1997). *Dinámica de sistemas*. Alianza Editorial.

Aracil, J. (2008). *Dinámica de sistemas*. Editorial ISDEFE.

Araujo, M. C., Medeiros, D. L., & Cohim, E. (2022). Desempenho energético e pegada de carbono de um sistema de esgotamento sanitário centralizado no Nordeste brasileiro.

Engenharia Sanitária e Ambiental, 27(1), 205–221. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220200325>

Arroyo López, P.; Villanueva Bringas, M; Gaytán Iniestra, J. & García Vargas, M. (2014). Simulación de la tasa de reciclaje de productos electrónicos Un modelo de dinámica de sistemas para la red de logística. *Contaduría y Administración*, 59(1), 9-41. [https://dx.doi.org/10.1016/S0186-1042\(14\)71242-2](https://dx.doi.org/10.1016/S0186-1042(14)71242-2)

Bertalanffy, L.W. (1968). *Teoría general de los sistemas*. Fondo de Cultura.

Ciplak, N. & Barton, J.R. (2012). A system dynamics approach for healthcare waste management: a case study in Istanbul Metropolitan City, Turkey. *Waste Management & Research*, 30(6), 576-586. <https://doi.org/10.1177/0734242X12443405>

Wang, C. (2018). System dynamics simulation on municipal solid waste in Hong Kong. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers -*

- Municipal Engineer*, 171 (4), 185-195. <https://doi.org/10.1680/jmuen.16.00044>
- De Oliveira, C.T.; Bonfante, M.C.; Maldonado, M.U. & Soares, S.R. (2023). Continuing education to food waste management: a system dynamics simulation: a system dynamics simulation. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 19(2), 484-506. <https://doi.org/10.54399/rbgdr.v19i2.6739>
- Ding, Z., Yi, G., Tam, V.W.Y. & Huang, T. A. (2016). A system dynamics-based environmental performance simulation of construction waste reduction management in China. *Waste Management*, 51 (1), 130-141. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.001>
- El Territorio. (2011, 5 de diciembre). *Preocupa la proliferación de microbasurales en los barrios de Misiones*. <https://www.territorioidigital.com.ar/notaimpresa>
- Forrester, J. W. (1981). *Dinámica industrial*. Editorial Ateneo.
- Forrester, J. W. (1998). System dynamics and the lessons of 35 years (Documento D-4808). MIT Sloan School of Management. Recuperado de <ftp://sysdyn.mit.edu/ftp/sdep/papers/D-4808.pdf>
- García, J. M. (2004). *Dinámica de sistemas: Modelado y simulación de procesos complejos*. Barcelona, España: Sysware.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*, 6ta edición. McGraw-Hill.
- Hosseinalizadeh, R., Shakouri, H. & Izadbakhsh, H. (2022). Planning for energy production from municipal solid waste: An optimal technology mix via a hybrid closed-loop system dynamics-optimization approach. *Expert Systems with Applications*, 199, 116929. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116929>
- Ibarra, D. W., & Redondo, J. M. (2015). Dinámica de sistemas, una herramienta para la educación ambiental en ingeniería. *Revista Luna Azul*, 41, 152-164. <https://doi.org/10.17151/10.17151/luaz.2015.41.9>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (n.d.). <https://www.indec.gob.ar/>
- Islam, MS, & Moniruzzaman, SM. (2019). Simulation of sustainable solid waste management system in Khulna city. *Sustainable Environment Research*, 29, 14. <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0013-8>
- Jović, M., Bošković, G.B., Jović, N., Savković, M., Mačužić, I., Stefanović, M. & Klochkov, Y. (2022). Assessment of the Fragility of the Municipal Waste Sector in Serbia Using System Dynamics Modelling. *Sustainability*, 14 (2), 862. <https://doi.org/10.3390/su14020862>
- Jerez Pérez, F. S., & Abreo Serrano, A. F. (2018). *Modelo de simulación del impacto ambiental por desechos en Bucaramanga y su área metropolitana* [Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Bucaramanga], Repositorio UNAB. <http://hdl.handle.net/20.500.12749/6970>
- Kammerer David, M. I., & Murgas Téllez, B. (2024). La innovación tecnológica desde un enfoque de dinámica de sistema. *Región Científica*, 3(1), 2024217. <https://doi.org/10.58763/rc2024217>
- Liu, Z., Zhang, Q. & Liu, H. (2023). Prediction of municipal solid waste treatment and disposal in high cold and high altitude area based on system dynamics: a case study of Lhasa. *Environmental Research Communications*, 5 (12), 125006. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad1164>
- Manfredi S, Tonini D, Christensen TH, Scharff H. (2009). Landfilling of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27(8), 825-836. <https://doi.org/10.1177/0734242X09348529>

- Martínez, S. y Requema, A. (1988). *Simulación dinámica por ordenador*. Alianza Editorial.
- Medina, H. R. B. (2016). Análisis del Balance Energético del Ecuador a través de Dinámica de Sistemas. *Compendium: Cuadernos de Economía y Administración*, 2(4), 61-78. <http://www.revistas.espol.edu.ec/index.php/compendium/article/view/76>
- Moriello, S. (2015). *Inteligencia natural y sintética*. Editorial Nueva librería.
- Moriello, S. (2016). *Dinámica de los sistemas complejos*. <https://biblioteca.umem.mx/books>
- Nguyen, T., Van Nguyen, T., Zhou, L., Duong, Q. H. & Ieromonachou, P. (2025). Assessing the impact of EU policies on recycling supply chain: a system dynamics perspective on advancing packaging recycling capacity. *Annals of Operations Research*, 1-53. <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06438-y>
- Niezwidz, S.R. & Santacruz, F. (2024). *Primer informe de economía circular de la provincia de Misiones*. <https://cambioclimatico.misiones.gob.ar/wp-content/uploads/2024/09/Misiones-Informe-Economia-Circular-2024.pdf>
- Niezwidz, S. R., Juszczyszyn, J. C. M., & Gavazzo, G. B. (2023). Revisión bibliográfica sobre los residuos sólidos urbanos. *InGenio Journal: La revista de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la UTEQ*, 6(2), 30-39. <https://doi.org/10.18779/ingenio.v6i2.678>
- Osorio Hoyos, C. O. B. (2024). *Evaluando el efecto de las intervenciones basadas en modelos pequeños de dinámica de sistemas en modelos mentales de tomadores de decisión* [Trabajo de grado de Maestría, Universidad de Los Andes]. Repositorio Institucional Séneca. <https://hdl.handle.net/1992/74437>
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). (2019). *Resumen para responsables de políticas: Informe de síntesis del Sexto Informe de Evaluación*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Rafew, S.M. & Rafizul, I.M. (2022). A System Dynamics Approach of Decisive Policy Measures for Sustainable Municipal Solid Waste Management in Khulna City of Bangladesh. En: Hossain, S., Hossain, MS, Kaiser, MS, Majumder, SP, Ray, K. (eds.) *Proceedings of International Conference on Fourth Industrial Revolution and Beyond 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 437. Springer, Singapur. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2445-3_11
- Rodríguez Andrade, J., & Ibarra Vega, D. (2019). Modelo para la evaluación dinámica de la gestión de residuos ordinarios de la ciudad de Bogotá y su influencia en el índice de calidad ambiental urbana. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2), 143-162. <https://doi.org/10.22490/21456453.2411>
- Sancheta, L. N., Chaves, G. L. D., & Siman, R. R. (2021). The use of system dynamics on urban solid waste management: a literature analysis. *Gestão & Produção*, 28(3), e5336. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2021v28e5336>
- Sánchez-Muñoz, M. D. P., Uribe, J. J. G., & Agudelo, H. H. R. (2023). Sustentabilidad en las organizaciones del mercado de los residuos sólidos domiciliarios aprovechables en Neiva (Colombia): un análisis desde la Dinámica de Sistemas. *Criterio Libre*, 21(38), e2610682-e2610682. <https://doi.org/10.18041/1900-0642/criteriolibre.2023v21n38.10682>
- Schaffernicht, M. (2009). *Indagación de situaciones dinámicas mediante la dinámica de sistemas*. Universidad de Talca.
- Sterman, J.D. (2000). *Dinámica empresarial: Pensamiento sistémico y modelado para un mundo complejo*. Irwin/McGraw-Hill.
- Senge, P. (1998). *La quinta disciplina en la práctica*. Ediciones Granica.

- Simonetto, E. de O., Modro, NR & Dalmolin, LC (2013). Assessment of Energy Saving in Waste Recycling using System Dynamics. *Revista De Administração Da UFSM*, 6(2), 319–332. <https://doi.org/10.5902/198346597166>
- Sukholthaman, P., & Sharp, A. (2016). A system dynamics model to evaluate effects of source separation of municipal solid waste management: A case of Bangkok, Thailand. *Waste Management*, 52(1), 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.026>
- Vensim PLE (Edición de aprendizaje personal). <https://vensim.com/free-downloads/>
- Xu, R., Ji, K., Yuan, Z., Wang, C. & Xia, Y. (2024). Exploring the Evolution Trend of China's Digital Carbon Footprint: A Simulation Based on System Dynamics Approach. *Sustainability*, 10(10), 4230. <https://doi.org/10.3390/su16104230>
- Yang, H.T., Chao, H.R. & Cheng, Y.F. (2024). Forecasting and controlling of municipal solid waste (MSW) in the Kaohsiung City, Taiwan, by using system dynamics modeling. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(8), 9571-9579. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02897-0>
- Zhao, Y., Zhang, J., Zhao, K., Li, S. & Duan, X. (2025). Coupling system dynamics with emergy analysis to achieve China's zero-waste city goals: A metabolic perspective. *Journal of Cleaner Production*, 497, 145-178. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145178>

Autores

Sonia Romina Niezwida. Facultad de Ingeniería Oberá (UNaM). Departamento de Ingeniería Industrial, Oberá, Misiones, Argentina. Becaria CONICET.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7700-6834>

Email: sonia.niezwida@fio.unam.edu.ar

Juan Carlos Michalus. Facultad de Ingeniería Oberá (UNaM). Departamento de Ingeniería Industrial, Oberá, Misiones, Argentina.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4182-3380>

Email: michalus@fio.unam.edu.ar

Graciela Beatriz Gavazzo. Instituto de Materiales de Misiones (IMAM). Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales (UNaM), Posadas, Misiones, Argentina.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5542-8684>

Email: graciela@fceqyn.unam.edu.ar

Recibido: 19-03-2025

Aceptado: 19-06-2025

Efecto de la deformación por torsión a 2450° en la recritalización del acero ASTM A-36

Effect of torsion deformation at 2450° on the recritalization of ASTM A-36 steel

Carmen Osorio, Victoria Armas, Carlos Alfonzo, Neyda Severian

Palabras clave: acero ASTM A-36, recristalización, recocido, tracción, torsión, dureza

Key words: ASTM A-36 steel, recrystallization, annealing, traction, torsion, hardness

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de la deformación angular del acero ASTM-36 al grado de torsión de 2450° en su proceso de recristalización, aplicando un tratamiento térmico de recocido. La observación de los cambios en la estructura del material se llevó a cabo mediante ensayos de microscopía óptica, tracción, torsión y dureza, aplicado al material frío o mecanizado y a las probetas tratadas térmicamente. Las temperaturas del tratamiento térmico de recocido fueron: 440°C, 5540°C, 640°C y 740°C, a fin de establecer la temperatura a la cual el material logra recristalizarse y mostrar durante el proceso la recuperación y el crecimiento del grano del acero. Se comprobó la variación en las propiedades mecánicas por liberación de los esfuerzos internos acumulados debido a la deformación en frío, presentando en su microestructura granos de ferrita y perlita deformados. Se concluyó que el rango de temperaturas usadas fue suficiente para lograr un recocido total consiguiendo culminar la etapa de recuperación y alcanzando la recristalización por completo, entre el rango de 540°C y 640°C. Los valores obtenidos en la investigación permiten ratificar que el acero ASTM A-36 cumple con las normas de fabricación y uso.

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the effect of angular deformation of ASTM-36 steel at a torsion degree of 2450° on its recrystallization process, applying an annealing heat treatment. Observation of changes in the material structure was carried out through optical microscopy, tensile, torsion and hardness tests, applied to cold or machined material and to heat-treated specimens. The annealing heat treatment temperatures were 440°C, 5540°C, 640°C and 740°C, in order to establish the temperature at which the material achieves recrystallization and show during the process the recovery and grain growth of the steel. The variation in mechanical properties was verified by the release of internal stresses accumulated due to cold deformation, presenting deformed ferrite and pearlite grains in its microstructure. It was concluded that the temperature range used was sufficient to achieve full annealing, completing the recovery stage and achieving complete recrystallization, between the range of 540°C and 640°C. The values obtained in the research confirm that ASTM A-36 steel complies with manufacturing and use standards.

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de los procesos de manufactura y el diseño de elementos de máquinas es imprescindible conocer las propiedades mecánicas de los materiales a utilizar, tales como, esfuerzo cortante máximo, módulo de rigidez por corte y deformación por corte. Dichas propiedades se han estandarizado debido al avance tecnológico dando paso a una gran cantidad de aceros que hoy en día están presentes en los catálogos y documentación nacional e internacional. Sin embargo, la mayoría de estos catálogos proporcionan la información basados solamente en datos teóricos.

En Venezuela son pocos los trabajos de investigación de ensayo de torsión y uno de los casos que posee pocas referencias bibliográficas e información en cuanto a este tema es el acero ASTM A-36, el cual será la base de este estudio. Este acero es conocido como hierro negro, es un acero al carbono estructural, mayormente usado en puentes y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, con cualidades como ductilidad, homogeneidad, soldabilidad, buena resistencia a la tracción, compresión y bajo costo (Chaupi y Yucra, 2019). Su limitada documentación sobre torsión justifica la presente investigación.

Debido a que el acero se presenta en formas diferentes: barras, cables, laminas; para su

uso específico, siendo inherente los procesos de deformación en frío como el trefilado y laminación, lo cual produce modificación en la microestructura, las propiedades mecánicas y en su proceso de recristalización. Por ello la importancia de los factores que intervienen en el conformado del acero, como la temperatura, las propiedades mecánicas, la composición. En resumen, el conformado del acero permite crear piezas con diferentes formas y propiedades, adaptadas a las necesidades de la industria. En este sentido, los tratamientos térmicos son una herramienta utilizada para la obtención de propiedades mecánicas necesarias en determinados procesos de producción y uno de los más utilizados es el tratamiento térmico de recocido con el fin ablandar el metal, regenerar la estructura o eliminar las tensiones internas presentes después de un proceso de deformación (Díaz & Reyes, 2012). Al recocer un acero se busca obtener la plasticidad máxima, liberando tensiones y disminuyendo su límite elástico lo máximo posible, mediante un calentamiento de una determinada duración y una temperatura definida (Rojas, 2010). Todo esto para contribuir a una mayor vida útil de la pieza elaborada con el acero, según los requerimientos de su aplicación.

METODOLOGÍA

La metodología aplicada para analizar el efecto de deformación por torsión a 2450° en el proceso de recristalización del acero ASTM-36, se fundamenta en realizar ensayos de tratamiento térmico de recocido completo, que incluya el recocido de recristalización. Estos ensayos permiten observar en el laboratorio la formación de nuevos granos equiaxiales lo cual mejora la ductilidad del material. Para ello se utilizó un conformado del material de barras cilíndricas macizas, sometidas a variaciones de temperaturas incrementadas en 10°C, entre 440°C y 740°C, cotejando sus características de diseño al frío según normas industriales ASTM y COVENIN para establecer a partir de los gráficos experimentales generado en el ensayo, las variaciones en sus propiedades mecánicas y en la microestructura. El análisis microestructural consistió en la observación de la muestra patrón del acero ASTM 36-A, mediante un programa analizador de imágenes evaluando las variaciones en tamaño de grano, fases y afecciones ocurridas en el proceso de deformación, construyendo curvas de esfuerzo cortante y deformación angular desde 0° a 2450° de deformación. En este sentido se realizaron cinco (05) etapas del ensayo que permitió analizar el efecto de deformación del acero en estudio.

Material

Se seleccionaron barras cilíndricas macizas de acero al carbono grado ASTM A-36 de 25mm de diámetro por laminación en

caliente según la norma COVENIN 2745(1999), cuyo máximo porcentaje de carbono es de 0.29%.

Procedimiento

Fueron mecanizadas las barras cilíndricas de acero, parte de estas fueron caracterizadas en condiciones iniciales mediante ensayos de torsión, tracción, dureza Rockwell B y microscopía óptica. Posteriormente, se definieron las temperaturas del tratamiento térmico de recocido (440°C, 540°C, 640°C y 740°C) y el grado de deformación angular (2450°) para el ensayo de torsión, para cada una de ellas se aplicaron ensayos de torsión, dureza y microscopía óptica, para ser comparados entre si análisis y analizar temperatura en el cual el material obtuvo la recristalización y su proceso de recuperación y crecimiento del grano.

Etapas I Caracterización de las condiciones iniciales

Se mecanizaron las barras cilíndricas macizas de 25 mm a 10 mm de diámetro para el ensayo de tracción según norma ASTM A370 (2024). Se realizó la preparación de las probetas y posteriormente el ensayo de microscopía óptica (Según normas ASTM E 407-99 (2018) y ASTM E-112 (2024). Mientras que el ensayo de dureza y el mecanizado de las probetas se realizó (Según norma ASTM E 18-05(2024, luego se realizó el ensayo de torsión (Según norma COVENIN 907-1997), estas pruebas bajo la norma indicada, arroja información de las propiedades mecánicas del material, lo cual

es la base para la caracterización del acero ASTM A-36.

Etapas II. Deformación angular

En esta fase se aplica una fuerza de torsión un grado fijado en 2450° a las probetas mecanizadas de la etapa I, siguiendo la norma COVENIN 907-1997.

Etapas III. Caracterización de barras torsionadas

Para caracterizar los datos torsionales, se prepararon las probetas sometidas a torsión para los ensayos de microscopía óptica, dureza y se realizaron los ensayos metalográficos (según norma ASTM E 407-99(2018); ASTM E-112(2024) y ASTM E 18-05 (2024).

Etapas IV. Tratamiento térmico de recocido

Este tratamiento se realizó a las probetas en los valores de temperaturas seleccionadas (440°C, 540°C, 640°C y 740°C) y el grado de torsión definido en la etapa II. Posteriormente se realizó el ensayo de microscopía óptica (ASTM E 407-99 (2018) y ASTM E-112 (2024) y el ensayo de dureza

Rockwell B HRC (Según norma ASTM E 18-05 (2024), caracterizando las propiedades del material con la información obtenida de los ensayos aplicados.

Etapas V. Análisis del proceso de recristalización

En esta fase de análisis se toma en cuenta las gráficas y fotografías obtenidas de los ensayos, a fin de corroborar mediante la observación y comparación si se presenta aglomeración de granos y formación de granos equiaxiales de forma similar y en todas las direcciones, lo cual se refiere al crecimiento del grano de recristalización, esta microestructura es más homogénea y menos propensa a la fractura, conformando así los aspectos para el análisis en el proceso de recristalización del material ASTM A-36. La temperatura de recristalización varía según la composición del acero, pero generalmente se encuentra entre 400 y 700 °C, según MecánicadelaMoto.com (14 feb 2023).

RESULTADOS

Ensayo de tracción

Este ensayo se realiza para obtener curvas de esfuerzo respecto a la deformación del material, para registrar la fuerza aplicada y

la deformación resultante como condición inicial para registrar sus condiciones mecánicas, estos valores se muestran en la tabla N°1.

Tabla 1. Valores iniciales del ensayo de tracción de la probeta

Probeta ASTM A-36	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de ruptura (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Elongación (%)
Promedio	319.7965	309.212	420.666	45.72

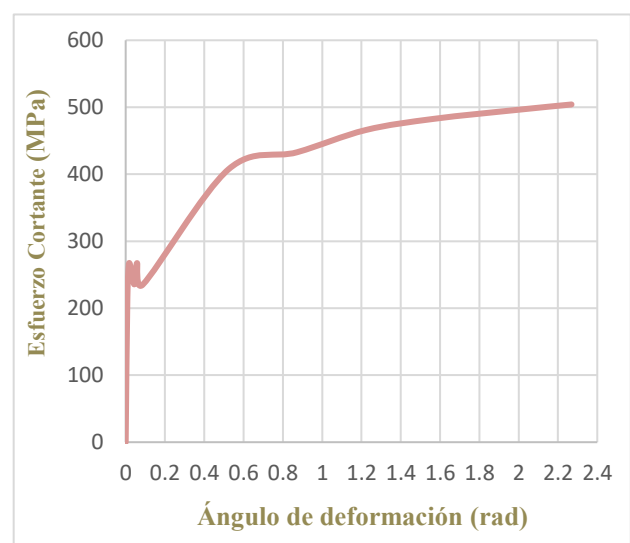
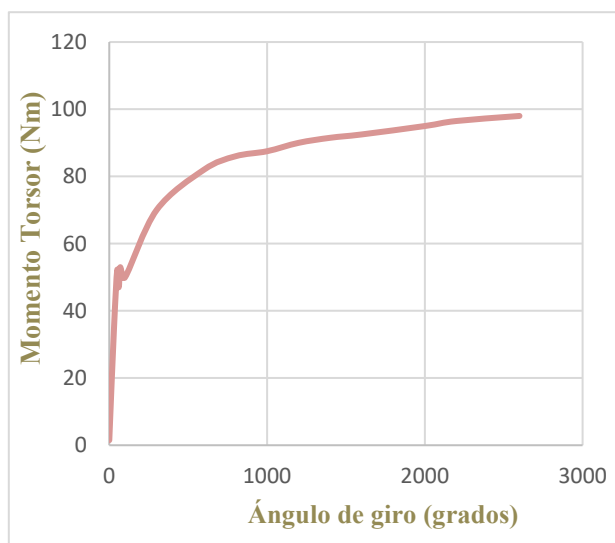
Con base en los resultados obtenidos, respecto a los teóricos, se observa que la resistencia a la tracción está comprendida en el rango de (400 – 550) MPa y el valor promedio en este ensayo fue de 420.66 MPa, encontrándose dentro de lo establecido según las normas. El esfuerzo de fluencia establecido es > 250 MPa, el valor promedio arrojado en este ensayo fue de 319.7965 MPa por lo tanto supera el valor establecido un 27.91%. El porcentaje de elongación establecido es $\geq 20\%$, el valor promedio arrojado en este ensayo fue de 45.72% por lo tanto supera el valor establecido un 128.6%.

Ensayo de torsión

En este ensayo se elaboran gráficos del momento torsor respecto al ángulo de giro

en grados, para determinar las propiedades mecánicas como el esfuerzo cortante torsional, la deformación angular y el límite de fluencia torsional. Esto se percibe en la figura N° 1 (a) y (b). En la figura (a) se muestra la gráfica del momento torsor que suministró el programa después del ensayo hasta la ruptura del material en condición inicial. Mientras que en la figura (b) se muestra la gráfica experimental elaborada entre el esfuerzo cortante vs. ángulo de deformación. En el ensayo, el material falló a 2600° , por lo tanto, se comprueba que es acero ASTM A-36, ya que su resistencia fue de 504.20 MPa estando dentro del rango (400 - 550) MPa.

Figura 1. (a) Momento torsor vs. ángulo de giro. (b) Esfuerzo cortante vs ángulo de deformación



Al realizar el ensayo, aplicando la fuerza de torsión al acero ASTM A_36 hasta que alcanzara el grado de deformación deseado

de 2450° , trabajando de esta manera en un rango de 0° hasta 2450° en estas pruebas.

Ensayo de dureza Rockwell

Para este ensayo se seleccionaron dos (02) probetas para medir la profundidad de penetración, deformación bajo carga de 100kg, a 2450° y con tratamiento térmico de recocido a las temperaturas de 440°C,

540°C, 640°C y 740°C respectivamente, tomándose las mediciones de dureza Rockwell B (HRB) en cada una de ellas, en la tabla N° 2 se presentan los datos obtenidos de este ensayo.

Tabla 2. Datos obtenidos del ensayo de dureza Rockwell B (HRB) para las distintas condiciones del estudio realizado

Dureza Rockwell B (HRB)			
Condición	N° probetas	N° indentaciones	Promedio
Condición inicial	2	6	65.25
Deformado a 2450°	2	6	93.83
Deformado con TT de 440°C	2	6	91.05
Deformado con TT de 540°C	2	6	89.71
Deformado con TT de 640°C	2	6	65.07
Deformado con TT de 740°C	2	6	59.83

Contrastando con la norma, la dureza para un acero ASTM A-36 está comprendida entre 68-69 HRB, obteniéndose en el ensayo un promedio de 65.25 HRB, observándose variación en la propiedad del acero, disminuyendo. Esto puede ser producto del proceso de mecanizado que sufrió el material. En el renglón de deformación angular a 2450°, se observa un incremento considerable en la dureza del material por encima de 90, esto puede ser debido a la aglomeración de granos deformados en su estructura cristalina, lo cual se puede confirmar la fotografía para la microestructura óptica.

Al aplicar el tratamiento térmico de recocido a las distintas temperaturas se observó una disminución gradual de la dureza a medida que iba incrementando la

temperatura del ensayo. A la temperatura de 640°C se observó que la dureza obtenida promedio fue de 65.07 HRB y se encontraba levemente inferior a la dureza inicial del material que fue de 65.25 HRB, por lo tanto, se concluye que, para obtener la dureza deseada, el tratamiento de recocido debe realizarse entre las temperaturas de 540°C y 640°C.

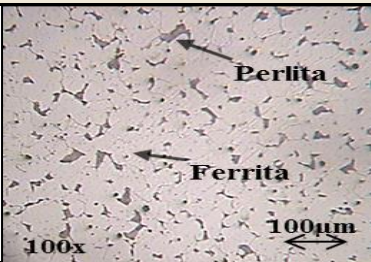
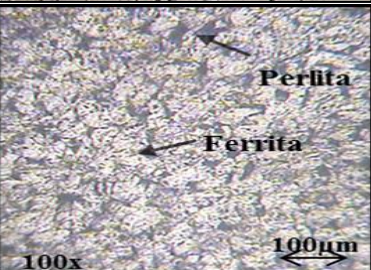
Microestructura

El ensayo para observar la microestructuras del acero, sometido a tratamiento térmico de recocido, se fundamenta en la presencia de cementita con matriz ferrítica, esta coalescencia de microestructura es más adecuada para los aceros al carbono. Al visualizarse estas fases se puede establecer aspectos de la cristalización. A continuación, se muestran

los resultados obtenidos de la metalografía y la caracterización microestructural realizadas al material en estudio, en la tabla

Nº 3 se observa las diferentes etapas por las cuales pasó el acero ASTM A-36 durante el proceso de recrystalización.

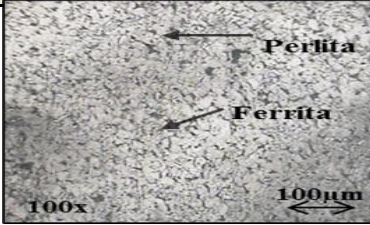
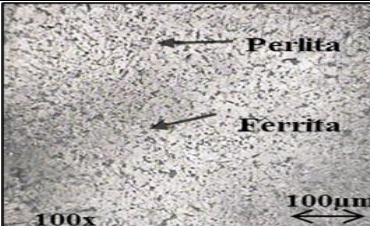
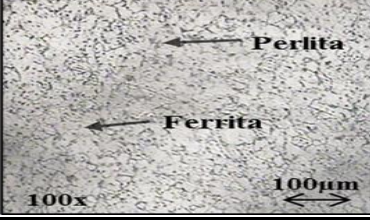
Tabla 3. *Diferentes etapas del acero ASTM A-36 durante la etapa de recrystalización*

Condición	100X	Observaciones
Condición inicial		Se observa la perlita y ferrita perfectamente, así como también los bordes de granos.
Deformada sin tratamiento térmico		Se observa un gran número de dislocaciones por lo que no se distinguen los límites de grano.
Tratamiento de recocido 440 °C		Se observa una disminución muy leve de las aglomeraciones perlita deformada.

En cuanto al ensayo de microscopía óptica realizado al material en condición inicial presentó granos equiaxiales, observándose zonas claras correspondientes a ferrita y zonas grises oscuras correspondientes a perlita, estos microconstituyentes corresponden con lo esperado al acero ASTM A-36, según especificaciones del

material acero al carbono. Adicionalmente se observa que la estructura sigue manteniendo las mismas fases ferrita y perlita. En la tabla Nº 3, se muestra la microscopia para las temperaturas 540°C, 640°C y 740°C.

Tabla 3. *Continuación. Diferentes etapas del acero ASTM A-36 durante la etapa de recrystalización*

Condición	100X	Observaciones
Tratamiento de recocido 540 °C		Se observa una mejor nucleación de granos libres de deformación.
Tratamiento de recocido 640 °C		Se observa que los granos nuevos aumentaron su tamaño alcanzando a ser equiaxiales, culminando la etapa de recrystalización.
Tratamiento de recocido 740 °C		Se observa un sobre aumento en el tamaño de los granos y cambios no deseados en su estructura cristalina

Del ensayo de microscopía óptica luego de la deformación en frío de 2450° se observó una microestructura donde se percibe claramente la aglomeración de los granos, mostrando zonas claras correspondientes a ferrita deformada y zonas grises oscuras correspondientes a perlita deformada. La ferrita y la perlita continúan siendo la fase la fase presente en la estructura cristalina. El aumento del tamaño de los granos en todas las direcciones y aproximadamente iguales, indica que se formaron granos equiaxiales. El sobreaumento del tamaño de grano hace menos resistente al material. Análisis del proceso de recrystalización del acero ASTM A-36

Con el tratamiento de recocido se pudo evidenciar que iba disminuyendo la aglomeración de los granos conforme

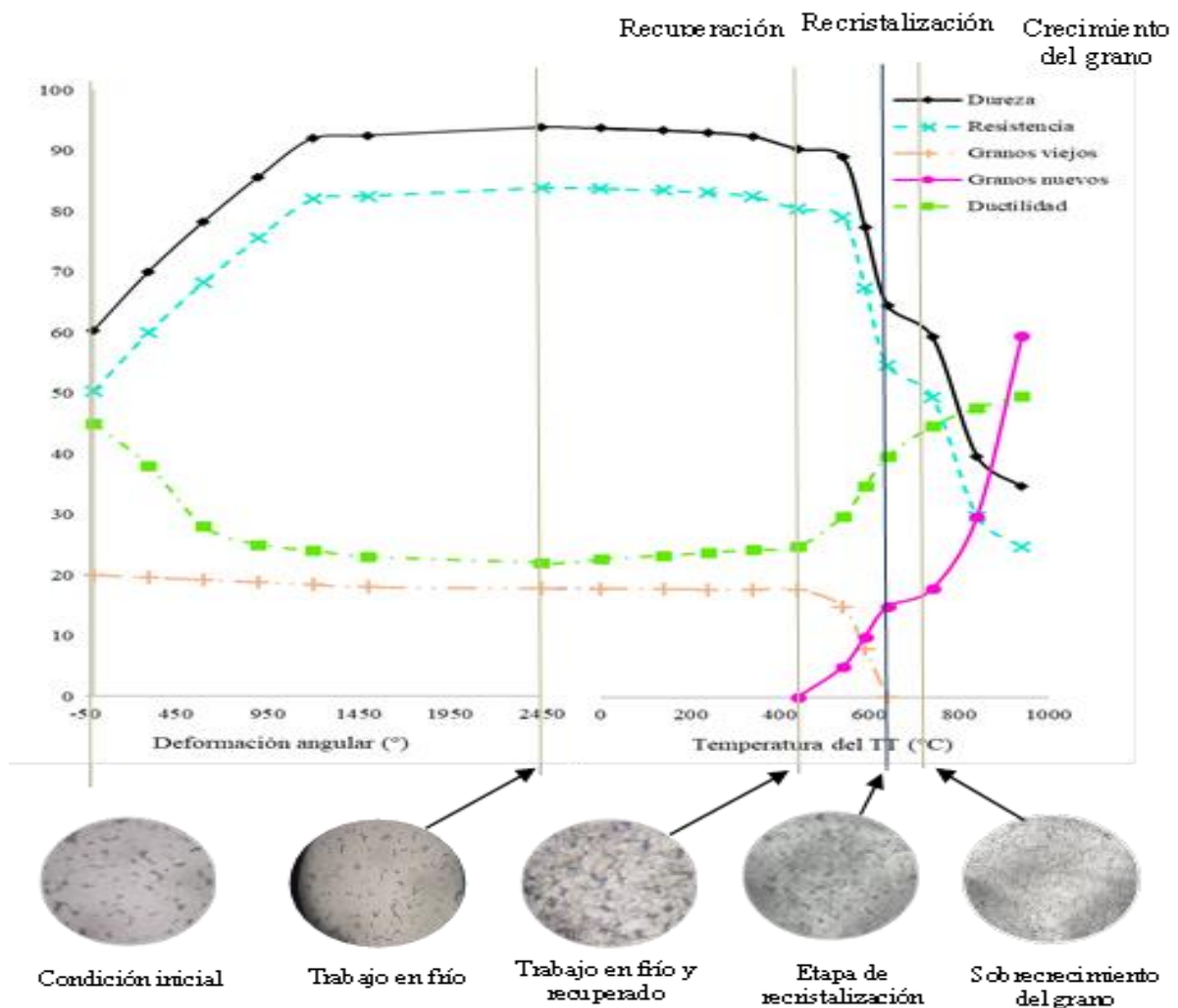
aumentaba la temperatura del tratamiento, presentando mejor definición del límite de grano y en mejor medida, develando granos equiaxiales, esta estructura se relaciona a la recrystalización. Sin embargo, el proceso de torsión tiene efectos significativos en cualquier material, debido a las deformaciones que se acumulan en el material, generando fallos en este, ya que aumenta la velocidad de nucleación de granos y disminuye para que ocurra la recrystalización. Por esto es importante verificar mediante el ensayo estas propiedades, para mejorar la calidad y ductilidad del material a utilizar. Para este estudio el material fallo a 2600°, por consiguiente el ensayo a 2450° relevante para la caracterización del material y tener soporte científico relacionado con su resistencia del material en comparación a

su condición inicial, establecida por la norma de fabricación del mismo. Adicionalmente, considerando que las secciones transversales circulares son más resistentes a la torsión que las rectangulares, y son las más utilizadas en los movimientos de giros, es necesario verificar no solo el esfuerzo de corte en el ensayo, también se requiere observar la dirección de los granos del material. En la microestructura óptica, se observó en las condiciones iniciales direcciones lineales, y tras aplicar el revenido a 2450° se observó disminución en las direcciones o alineaciones de los granos, mayormente observable en las zonas externas del material. Otro efecto generado por torsión es la manifestación de aglomerado y alargamiento del grano ubicándose visualmente en la estructura como zonas claras. Por ello, es importante que después del tratamiento térmico la estructura sea regular, es decir uniforme en su tamaño de grano para mejorar sus propiedades mecánicas. Los efectos por torsión son relevantes identificarlos para evitar fallos por fractura.

En este sentido, la recrystalización está fuertemente influenciada por la cantidad de deformación. Los materiales fuertemente deformados recrystalizarán más, y las deformaciones en frío crean

zonas de nucleación. Estos efectos por deformación deben confirmarse con ensayos del material, para su control de calidad, como contexto, el Molibdeno es un metal de transición difícil de deformar, sin embargo la década de 1970 bajo ensayos, encontraron deformación de 0.3 y recrystalizó más rápidamente para trefilado, laminado y compresión (Barto y Ebert 1971). Este inciso resalta la necesidad de las pruebas y ensayos a los materiales a pesar de las normas y condiciones de trabajo para las que se ofrece el acero, y el desarrollo de esta investigación así como la comentada anteriormente, determina que la temperatura de recrystalización No es una temperatura fija y depende de factores como los siguientes: Aumentar el tiempo de recocido disminuye la temperatura de recrystalización, Las aleaciones tienen temperaturas de recrystalización más altas que los metales puros, Aumentar la cantidad de trabajo en frío disminuye la temperatura de recrystalización. Los tamaños de grano más pequeños trabajados en frío disminuyen la temperatura de recrystalización. Estos efectos se pueden observar en el gráfico obtenido de esta investigación, figura N° 3. Análisis del proceso de la deformación en frío y el tratamiento térmico del material.

Figura 3. Análisis del proceso de la deformación en frío y el tratamiento térmico del acero ASTM A-36



En esta gráfica se relaciona el efecto que ocurre sobre las propiedades mecánicas durante su proceso de recristalización, apoyado en los resultados de la microestructura, ya que el tamaño y la

forma del grano influye directamente en estas propiedades. Mientras que las fases constantes de ferrita y perlita le confiere una característica equilibrada de dureza y tenacidad al acero.

CONCLUSIONES

Al aplicar tratamiento térmico de recocido a las diferentes temperaturas luego de la deformación en frío, se obtuvo una

disminución del 36.24% en la dureza del material, debido a que las tensiones internas que habían sido generadas por la

deformación angular, las cuales disminuyeron entre las temperaturas de 540°C y 640°C.

Los efectos por torsión manifestada en el ensayo se pueden, resaltar la importancia de realizar pruebas a los materiales para verificar sus condiciones de fabricación. En este entender al caracterizar el material mediante los ensayos tracción, torsión, dureza y microscopía óptica en probetas, se concluye que el material cumple con los parámetros de la norma ASTM A-36.

Los gráficos y la relación de estos con la microscopía óptica, nos lleva a concluir que el material ASTM A-36 alcanza durante los ensayos culminar el proceso de recrystalización, ya que se visualizó la fase de recuperación, recrystalización y crecimiento de grano, logrado entre las temperaturas de 540°C y 640°C. Es decir, a temperaturas superiores a este rango se evidencia en los ensayos que se generan condiciones estructurales no deseadas para el material, lo cual disminuye sus propiedades mecánicas y por ende la calidad del material.

Se concluye que las deformaciones acumuladas por procesos en frío de

laminación, estirado, trefilado afecta las propiedades del material, por tanto se debe realizar ensayos a probetas para garantizar la calidad del producto final y si estarán sometidos a esfuerzos de torsión es relevante verificar no solo los valores de esfuerzo sino relacionar estos con la estructura del material en su proceso de recrystalización. Es por ello, que todo trabajo de investigación fundamentado en pruebas, genera una base de datos bajo ciertas condiciones dentro de las normas establecidas, convirtiéndose en referente técnico.

Finalmente, se recomienda, profundizar o detallar esta investigación en el rango de temperatura de 540°C y 640°C, así como un análisis a grados posteriores a 245° para complementar la investigación y determinar lo más exacto posible la temperatura de recrystalización del material ASTM A-36. Así mismo, se recomienda tener presente la importancia de realizar ensayos para verificar las condiciones de diseño, indispensable en los procesos de calidad y mejora de propiedades del producto final.

REFERENCIAS

Chaupi, Y. & Yucra, A. (2019). *Soldabilidad del acero ASTM A607 grado 50 con el acero ASTM A-36 por el proceso SMAW en el alargue del chasis para el ensamble de carrocerías de buses*. [Trabajo de Grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/4755>

Díaz, F. & Reyes, A. (2012). *Aceros estructurales y tratamientos térmicos*. Universidad Nacional Autónoma de México. https://virtual.cuautitlan.unam.mx/ingenieria/fesc/mecanica/mat/mat_mec/m6/aceros%20estructuras%20y%20tratamientos%20termicos.pdf

Rojas, R. (2010). *Recuperación y recrystalización de aleaciones de cobre con titanio y carbono* [Trabajo

de Grado, Universidad de Chile]. Universidad de Chile. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103743>

COVENIN 2745 (1999). *Barras de acero al carbono laminadas en caliente de sección transversal cuadrada y superficie lisa, para uso en herrería industrial.* [https://sigbs.sencamer.gob.ve/cgi-bin/koha/opac-retrieve-](https://sigbs.sencamer.gob.ve/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=c980861ca064ddb4c1b4f96d718aee5a)

[file.pl?id=c980861ca064ddb4c1b4f96d718aee5a](https://sigbs.sencamer.gob.ve/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=c980861ca064ddb4c1b4f96d718aee5a)

ASTM A370. *Pruebas mecánicas de productos de acero.*

ASTM E 407-99. *Standard practice for microetching metals and alloys.*

ASTM E-112. *Métodos de prueba estándar para la determinación de tamaño de grano.*

ASTM E18-05. *Standard test methods for rockwell hardness and Rockwell superficial hardness of metallic materials.*

COVENIN 907 (1997). *Alambres de acero. Método de ensayo de torsión simple.*

[https://sigbs.sencamer.gob.ve/cgi-bin/koha/opac-retrieve-](https://sigbs.sencamer.gob.ve/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=59f3550348475291ce7ede676995ccba)

[file.pl?id=59f3550348475291ce7ede676995ccba](https://sigbs.sencamer.gob.ve/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=59f3550348475291ce7ede676995ccba)

Autores

Carmen Osorio. Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-5348-5611>

Email: carmen.construccion25@gmail.com

Victoria Armas. Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7283-8025>

Email: victoriaarmas89@gmail.com

Carlos Ramón Alfonso Álvarez. Ingeniero Mecánico, Magister en Ingeniería de Procesos, Doctorante del Programa de Ingeniería Mecánica. Profesor Titular del departamento de Materiales y procesos de fabricación. Investigador del Centro de Investigación de Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9906-8990>

Email: calfonzo10@gmail.com

Neyda Margarita Severian González. Ingeniero Mecánico, Especialista en Tecnología de Computación para la Educación, Doctora en Ciencias de la Educación; Profesora abscrita a la Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8446-5871>

Email: neydaseve@gmail.com

Recibido: 26-01-2025

Aceptado: 09-06-2025

Diagnóstico del sistema de mantenimiento de la sucursal Empresa de Telecomunicaciones Camagüey

*Diagnosis of the maintenance system of the Camagüey Telecommunications
Company branch*

Lilian Chaviano Tovar, Dayner Manzo Pinto, Neeldes Matos Ramírez

Palabras clave: sistema de mantenimiento, herramientas de calidad, indicadores de mantenimiento

Key words: Maintenance system, quality tools, maintenance indicators

RESUMEN

El diagnóstico del sistema de mantenimiento de la sucursal Camagüey de la “Empresa de Telecomunicaciones de Cuba ETECSA”, se realizó por la necesidad de mejorar la disponibilidad de los equipos especiales empleados en la reparación de la red de telecomunicaciones en el territorio, el objetivo del mismo es detectar los principales problemas que afectan este indicador a través de la realización de un diagnóstico aplicando herramientas de calidad específicamente el diagrama Causa-Efecto y el principio de Pareto, además de los indicadores de fiabilidad y de mantenimiento de clase mundial empleados para evaluar el sistema de mantenimiento. La investigación, arrojó como resultado principal la identificación de problemáticas como deficiente control en la calidad de mantenimiento, poca capacitación del personal, problemas con la logística y abastecimiento de piezas de repuesto, envejecimiento del parque, así como que la planificación de los ciclos de mantenimiento no se corresponde con el tiempo de explotación de los equipos. Con los elementos que se obtienen en el estudio la entidad dispone de las causas a las cuales debe atacar para mejorar la disponibilidad del parque.

ABSTRACT

The diagnosis of the maintenance system at the Camagüey branch of the “Empresa de Telecomunicaciones de Cuba ETECSA”, was conducted due to the need to improve the availability of the special equipment used to repair the telecommunications network in the country. The objective is to detect the main problems affecting this indicator by conducting a diagnosis using quality tools, specifically the Cause-Effect diagram and the Pareto principle, in addition to world-class reliability and maintenance indicators used to evaluate the maintenance system. The main results of the research were the identification of problems such as poor maintenance quality control, poor staff training, problems with logistics and supply of spare parts, fleet aging, and a lack of maintenance cycle planning consistent with equipment operating time. Based on the data obtained from the study, the entity has identified the causes that must be addressed to improve fleet availability..

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es el conjunto de técnicas y sistemas que permiten prever las averías, efectuar revisiones, engrases y reparaciones eficaces, dando a la vez normas de buen funcionamiento a los operadores de las máquinas y a sus usuarios, contribuyendo a los beneficios de la empresa. Es un proceso que busca lo más conveniente para las máquinas, tratando de alargar su vida de forma rentable (García Fernández & Vizcaíno Zaballa, 2009).

Por otro lado, el diagnóstico empresarial constituye una herramienta que puede o no ser sencilla, pero que es de utilidad a los fines de conocer la situación actual de una organización y detectar reservas para su crecimiento, sobrevivencia o desarrollo. Múltiples son las técnicas, herramientas, métodos y procedimientos que pueden ser empleados para realizar un diagnóstico (Martínez Delgado et al., 2019).

La planificación del mantenimiento y el control de calidad son las medidas críticas de desempeño que gobiernan la efectividad de cualquier entorno de fabricación. Por ejemplo, las acciones frecuentes de mantenimiento preventivo (MP) pueden minimizar la probabilidad de averías, costos de mantenimiento correctivo (MC) y rechazos a nivel de calidad; sin embargo, eso conduce a un aumento en los costos de MP. Por otro lado, la política de control de calidad puede identificar rápidamente la ocurrencia de fallas catastróficas, minimizando el CM y PM, pero luego los costos de calidad involucrados en el seguimiento, inspección y la detección de

causas asignables tienden a aumentar (Mishra et al., 2022).

La prevención de posibles fallas en los medios de transporte especiales es fundamental para una operación confiable y segura de los procesos. Una de las herramientas con que se cuenta para el mantenimiento predictivo de una flota de transporte es la medición y análisis de la estadística y registro de las fallas, además se puede optar con más técnicas de diagnóstico como: análisis de lubricantes y composición de gases de escape, etc.

La Empresa de Telecomunicaciones de Cuba ETECSA, sucursal Camagüey, es la principal encargada de la reparación, mantenimiento e incremento de la instalación de tecnologías modernas de la red de telecomunicaciones en el territorio, tanto por cable como inalámbrica, para ello cuenta con un parque de vehículos especiales distribuidos en los 13 municipios de la provincia. El incremento de las fallas en los vehículos durante el tiempo de operación afectan los trabajos programados y la atención a las averías en el sector privado y estatal, por tanto es necesario determinar cuáles son las principales causas que afectan el trabajo y la operación de los medios de transporte especiales asignados al mantenimiento y el aumento de la red. Por lo anterior, el objetivo de este estudio es: detectar los principales problemas que afectan este indicador a través de la realización de un diagnóstico aplicando herramientas de calidad específicamente el diagrama Causa-Efecto

y el principio de Pareto; además de los indicadores de fiabilidad y de mantenimiento de clase mundial empleados para evaluar el sistema de mantenimiento.

Para la mejora continua de la actividad de mantenimiento se han creado y diseñado diferentes metodologías y procedimientos, éstos se basan principalmente en el uso de los registros estadísticos de las intervenciones, en las pruebas realizadas con el equipamiento utilizado para el diagnóstico, en el uso de computadoras y software, en el empleo de métodos matemáticos avanzados, además de la experiencia del personal calificado y capacitado para la planificación, desarrollo y control de la actividad de mantenimiento.

Los Indicadores de gestión, también llamados KPIs (Key Performance Indicators) permiten medir el nivel del desempeño de un proceso, a fin de establecer el grado en que un objetivo fijado, se pueda alcanzar. El desafío consiste en saber qué medir, cómo, cuándo, donde, o con qué herramientas. Un departamento de servicio al cliente puede tener como uno de sus indicadores clave de desempeño, en línea con los KPI generales de la empresa, el porcentaje de llamadas contestadas al cliente en el primer minuto (Gallegos Londoño et al., 2020).

Los Indicadores de gestión del mantenimiento deben permitir conocer el grado de cumplimiento de los objetivos, deben ser fáciles de medir, entender y de interpretar, deben ser representativos de las actividades realizadas, deben permitir establecer una relación entre trabajo

solicitado y trabajo entregado, deben permitir la medición y evaluación de tiempos asociados a actividades, deben replicar las buenas prácticas de gestión de otros procesos y/o empresas, deben motivar la competitividad y el deseo de mejorar, deben ser solo unos cuantos (los más significativos o representativos), deben ser concebidos partiendo del punto de vista del parámetro a ser medido, deben responder a la realidad actual, por cuanto deben ser adaptables al cambio, deben permitir medir parámetros que sean dinámicos (no se puede medir algo que no cambia), deben ser usados para permitir crear estrategias de trabajo orientado a la mejora continua (Gallegos Londoño et al., 2020).

En la presente investigación se tiene en cuenta el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), que es una metodología para determinar las actividades de mantenimiento, reactivas y proactivas, con objeto de optimizar la habilidad de los activos industriales, minimizando los fallos operacionales y/o sus consecuencias para la seguridad y medio ambiente, calidad, producción y mantenimiento de las instalaciones industriales (Padilla Quispe, 2019). También, se considera el Mantenimiento de Clase Mundial, que es "...el conjunto de las mejores prácticas operacionales y de mantenimiento, que reúne elementos de distintos enfoques organizacionales con visión de negocio, para crear un todo armónico de alto valor práctico, las cuales aplicadas en forma coherente generan

ahorros sustanciales a las empresas...” (Arrustico Loyola, 2021).

Fundamentalmente, el mantenimiento de clase mundial está orientado a la confiabilidad operacional y el aumento de fiabilidad, misma que es efectiva a través de la eficacia de la capacidad instalada, de tal forma que se logre incrementar el tiempo de permanencia en operación de los equipos e instalaciones, el ciclo de vida útil y los niveles de calidad que permitan operar al más bajo costo por unidad producida (Lamingo Chingo & Toctaguano Robalino, 2019).

Los indicadores de Mantenimiento de Clase Mundial son esenciales para evaluar y mejorar la eficiencia y efectividad de las operaciones de mantenimiento en cualquier organización. Entre los estos indicadores se encuentran la Disponibilidad Operativa, que mide el tiempo que un equipo está disponible para su uso, y el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), que indica la fiabilidad de los equipos. Además, el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) es crucial para entender la rapidez con la que se pueden restaurar los equipos a su funcionamiento óptimo

La implementación de estos indicadores permite a las empresas no solo optimizar sus recursos, sino también reducir costos y mejorar la satisfacción del cliente, creando un entorno de trabajo más eficiente y productivo (Casaña Medel et al., 2021).

Uso de indicadores para la evaluación del mantenimiento

Indicadores de fiabilidad

El estudio de la confiabilidad se utiliza en el análisis de data operativa para mantenimiento (Parra y Crespo, 2020). Es posible conocer el comportamiento de equipos en operación con el fin de: Prever y optimizar el uso de los recursos humanos y materiales necesarios para el mantenimiento, Diseñar y/o modificar las políticas de mantenimiento a ser utilizadas, Calcular instantes óptimos de sustitución económica de equipos, Establecer frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo.

Estos indicadores son:

Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF). Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El Tiempo Promedio para Fallar también es llamado “Tiempo Promedio Operativo” o “Tiempo Promedio hasta la Falla”.

Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR). Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento. La

mantenibilidad, definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores

tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento) (Parra y Crespo, 2020).

METODOLOGÍA

El presente trabajo se realizó durante la etapa 2017–2019, en el taller de transporte de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA) en la provincia y municipio de Camagüey. Las investigaciones experimentales se realizaron específicamente con el parque de vehículos ligeros y pesados especiales del municipio de Camagüey.

La Empresa tiene una infraestructura de transporte la cual responde a una población de 771 905 Habitantes. El nivel de penetración en la red fija en la actualidad es de 11.33 servicios por cada 100 habitantes, y en la Telefonía pública de 5.45 servicios por cada 1000 habitantes.

Esta investigación tiene un alcance explicativo, porque pretende revelar las principales dificultades que perjudican el trabajo y la operación de los medios de transporte, especialmente los situados en las actividades de mantenimiento y el aumento de la red de la referida sucursal. (Hernández, et al., 2014)

Para diagnosticar los sistemas de mantenimientos se emplearon encuestas, análisis estadísticos, métodos numéricos e indicadores. Con ello se elaboraron Diagramas Causa – Efecto (Ishikawa) que es utilizado para identificar las posibles

causas de un problema específico (León Rodríguez et al. 2021) y permitió organizar gran cantidad de información sobre el problema y determinar las posibles causas. También se utilizó el Diagrama de Pareto que es una herramienta de análisis que muestra la distribución de un conjunto de datos en orden descendente, su objetivo principal es identificar y priorizar los problemas o causas que tienen el mayor impacto en un proceso o situación específica (Chávez et al., 2024); con la cual, se logró visualizar los datos en forma de barras, con las barras más altas representando las causas más significativas.

Para el análisis en la empresa donde se realiza el diagnóstico, se utilizarán los datos recopilados en los reportes, más específicamente se trabajará con las razones de paro que los operadores colocan en las hojas de reporte. Para tratar de averiguar las razones por las que algo está fallando y que acciones deben llevarse a cabo para poder corregir el problema y mejorar los indicadores que se han planteado anteriormente.

Cálculo de indicadores de fiabilidad

Índice de trabajo sin fallas o funcionabilidad

Probabilidad de trabajo sin falla $P(t)$ (%): es la propiedad que establece que en los límites de un período de explotación dado no surjan fallas en el objeto técnico. Este indicador tiene las siguientes características:

a) Siempre tiene una magnitud positiva.

$$0 \leq P(t) \leq 1$$

b) La probabilidad de trabajo sin fallas al inicio de la explotación es igual a la unidad.

$$\text{Para } t = 0 \quad P(t) = 1$$

c) La probabilidad del trabajo sin fallas para un plazo de explotación infinitamente grande tiende a cero.

$$\text{Para } t \rightarrow \infty \quad P(t) \rightarrow 0$$

Según datos estadísticos, se puede determinar por la expresión (1):

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} \quad (1)$$

Donde:

N_0 = cantidad de equipos objeto de estudio en la prueba

$n(t)$ = cantidad de equipos que fallaron durante la prueba

Probabilidad de la falla $Q(t)$ (%): es la propiedad en que en los límites de un trabajo dado, surja aunque sea una falla, siendo un suceso aleatorio contrario a la probabilidad de trabajo sin falla; de ahí que la suma de ambas magnitudes sean igual a la unidad (2 y 3):

$$P(t) + Q(t) = 1 \quad (2)$$

Donde:

$$Q(t) = 1 - P(t) = \frac{n(t)}{N_0} \quad (3)$$

Tiempo de trabajo medio hasta la falla (t_O) (KM): es la esperanza matemática del trabajo del objeto técnico hasta que aparezca la primera falla, expresión (4):

$$t_O = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{oi}}{N_0} \quad (4)$$

Donde:

t_{oi} - tiempo de trabajo del objeto (i) hasta que surja la primera falla. Km.

N_0 - cantidad de equipos objeto de estudio en la prueba.

Índice de durabilidad.

Recurso medio t_{mr} : es la expresión matemática del recurso del objeto en (%).

Este se determina por la ecuación (5)

$$\bar{t}_{mr} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_{ri} \quad (5)$$

Donde:

t_{ri} - recorrido normado para el año. Km.

N - cantidad de vehículos que trabajan en buen estado al inicio de la prueba.

Índice de reparabilidad

Dentro de los indicadores que caracterizan el índice de reparabilidad se tiene:

Tiempo medio de restablecimiento de la capacidad de trabajo TB [minutos]: es el tiempo o volumen de trabajo que se invierte en detectar y eliminar las fallas, fórmula (6):

$$T_B = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m t_{bi} \quad (6)$$

Donde:

T_{bi} - tiempo o volumen de trabajo invertido en detectar y eliminar la falla.

m - cantidad de fallas que son eliminadas.

Para determinar este indicador es necesario tener en cuenta que el mismo evalúa la reparabilidad del objeto técnico y no sus factores externos. Se tiene en cuenta el tiempo promedio para todo el equipo en la eliminación de fallas.

Coefficiente de reparabilidad K_p (%): este indicador se determina por la expresión (7):

$$K_p = \frac{SH}{SH + S_b} \quad (7)$$

Donde:

SH - volumen de trabajo necesario para la eliminación de las fallas.

S_b- volumen de trabajo adicional, o sea, invertido en determinar las causas de surgimiento de la falla, tales como: desarme, lavado, detectado, etc.; es decir, los trabajos que deben de realizarse antes de eliminar directamente las fallas.

Si el objeto técnico está listo para la reparación, los trabajos adicionales son mínimos y el coeficiente de reparabilidad tiene un valor mayor.

Los índices analizados anteriormente permiten valorar sólo una de las propiedades de la fiabilidad que caracteriza el objeto de trabajo. Para una valoración más completa se utilizan los índices complejos, los cuales permiten valorar al mismo tiempo varias propiedades.

Los índices complejos escogidos son:

Coefficiente de disponibilidad K_d (%): es la probabilidad de que el objeto técnico esté apto para el trabajo en un momento arbitrariamente escogido, excepto en los períodos de mantenimiento, en el transcurso de los cuales la utilización del objeto no se prevé. Este índice caracteriza el trabajo sin fallas y la reparabilidad, expresión (8):

$$K_d = \frac{T_o}{T_o + T_b} \quad (8)$$

T_o - tiempo o volumen de trabajo hasta la falla.

T_b - tiempo promedio dejado de trabajar por la eliminación de la falla.

Este coeficiente evalúa las paradas no previstas de la máquina, lo que indica que los mantenimientos y reparaciones planificados no cumplen totalmente su objetivo. Su valor se encuentra en los límites de 0,8 a 0,9. Si K_d es menor que 0,8 se considera bajo el coeficiente de disponibilidad. (Fernández Sánchez & Shkiliova, 2012).

Coefficiente de disponibilidad operativa K_d (%): este coeficiente caracteriza la posibilidad de que el objeto tenga capacidad de trabajo en cualquier momento de tiempo. Su valor puede ser determinado por la fórmula (9):

$$K_{do} = K_d \cdot P(t) \quad (9)$$

Donde:

P (t) - probabilidad de trabajo sin fallas durante un intervalo de tiempo dado.

K_d Disponibilidad

Los indicadores propuestos, basados en los índices de fiabilidad, se desarrollan a partir de la evaluación de cada uno en relación con los elementos de cálculo reales disponibles en la actividad. Estos datos se pueden extraer de documentos accesibles, como las órdenes de trabajo y los informes de explotación.

Metodología para calcular los indicadores de Mantenimiento de Clase Mundial

Con la implementación de los indicadores de clase mundial se puede diagnosticar como está funcionando la eficiencia de la empresa y por ende el de su parque automotor como es el caso que nos ocupa. Indicadores a determinar y las fórmulas que los rigen son:

Tiempo promedio entre fallas: Relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas, en el período observado. Este se determina por la ecuación (10)

$$TMEF = \frac{NOIT \cdot HROP}{NTMC} \quad (10)$$

Tiempo promedio para reparación: Relación entre el tiempo total de las intervenciones correctivas en un conjunto de ítems con falla y el número de fallas

detectadas en el período observado. El resultado se obtiene con la fórmula (11).

$$TMPR = \frac{HTMC}{NTMC} \quad (11)$$

Disponibilidad de equipos: Relación entre el tiempo total de operación de cada ítem controlado y la suma de esos tiempos con los tiempos de mantenimiento de los mismos ítems, se determina con la expresión (12).

$$DISP = \frac{\Sigma HROP}{\Sigma (HROP - HTMN)} * 100 \quad (12)$$

Costo de mantenimiento por facturación: Relación entre el costo total de mantenimiento y la facturación de la empresa en el periodo de análisis, expresión (13).

$$CMFT = \frac{CTMN}{FTEP} * 100 \quad (13)$$

Costo de mantenimiento por el valor de reposición: Relación entre el costo total de mantenimiento acumulado de un determinado equipo y el valor de compra de un nuevo equipo (valor de reposición). Se determina con la expresión (14)

$$CMRP = \frac{\Sigma CTMN}{VLRP} * 100 \quad (14)$$

RESULTADOS

Resultados del diagnóstico en la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A. (ETECSA)

Selección del parque y el período de evaluación:

Tabla 1. *Parque de vehículos del municipio Camagüey*

Ligeros		Pesados	
Marca	Cantidad	Marca	Cantidad
Fiat Fiorino	5	Hino 500	1
Hyundai	4	Hyundai	2
Mitsubishi	8	Renault	1
Peugeot	5	Inter-4700	2
		Zil-130	2

Selección de la documentación

Se seleccionaron las órdenes de trabajo presentes en los expedientes de los vehículos donde se extrae la siguiente información: kilómetros recorridos hasta el surgimiento de la falla, registro de intervenciones, síntomas y tipos de fallas, tiempos de mantenimientos correctivos y mantenimientos planificados, costo de las operaciones de mantenimiento.

Estado actual del sistema de mantenimiento automotor en la actividad de mantenimiento de la red en ETECSA

Los servicios técnicos están concebidos para garantizar el buen estado técnico, la explotación y mantenimiento del transporte de la empresa ETECSA, con el fin de garantizar un servicio de mantenimiento y reparación de las redes telefónicas y de internet, como para asegurar las actividades administrativas. Los servicios técnicos constituyen el elemento dinámico del aseguramiento a la actividad de operaciones de la empresa, destacándose por su papel activo e ininterrumpido para mantener un coeficiente de disposición técnica por encima del 85%, necesario para el cumplimiento del plan de ingresos.

Resultados de un estudio precedente realizado en la entidad mostraron que las ocurrencias de fallos, en los autos ligeros, por ser la más representativa en la actividad, aportó las incidencias más frecuentes por sistemas: sistema eléctrico: 23% de las fallas, lubricación y dirección con un 18% de las fallas cada uno, y el sistema de frenos con una incidencia del 16%.

En los sistemas de dirección se deterioran muchas de las piezas que lo componen, sufren torsiones y desgaste por causa de los baches; las direcciones, sus terminales y rótulas, así como bielas y otros componentes, pierden sus cualidades funcionales, afectando negativamente, en el control y dirección del vehículo.

El exceso de polvo existente en el ambiente, daña principalmente en estos vehículos el filtro de aire el cual elimina al máximo las partículas presentes en el aire respirado por el motor para que la mezcla aire / combustible pueda efectuarse en buenas condiciones y no está indicado en las cartas técnicas su revisión periódica.

Otros aspectos que inciden en esta problemática son las normas jurídicas sobre la explotación en transporte que no se

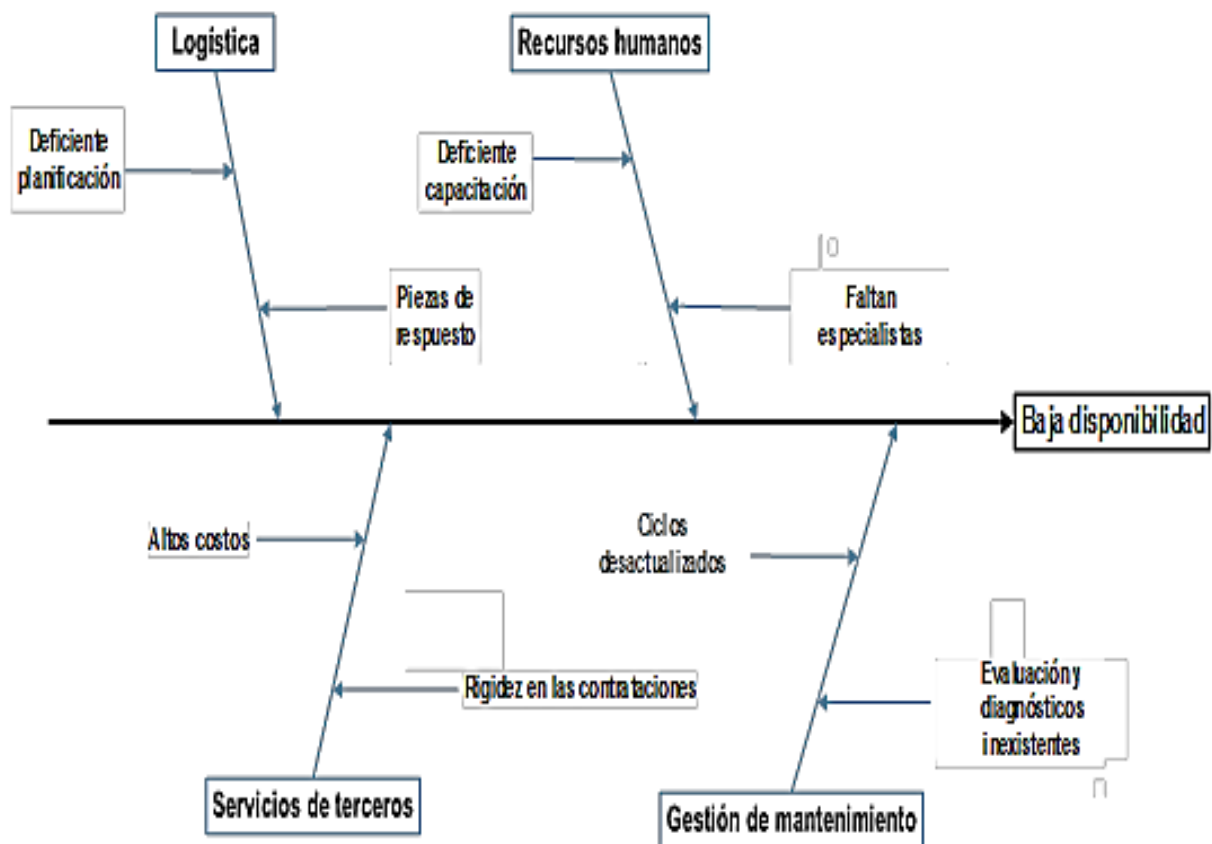
adecuan al sistema de trabajo de los autos, las condiciones de crisis económica global, que afectan disponibilidad financiera y logística para el mantenimiento y la dependencia de un sistema centralizado de la economía para las inversiones actuales y futuras.

Diagrama (Causa- Efecto) Ishikawa para analizar la gestión del mantenimiento en entidad

Durante la consulta a expertos de la entidad se recolectaron los criterios acerca de las causas y subcausas que prococan la baja disponibilidad del parque, luego se procedió a elaborar el diagrama Causa-

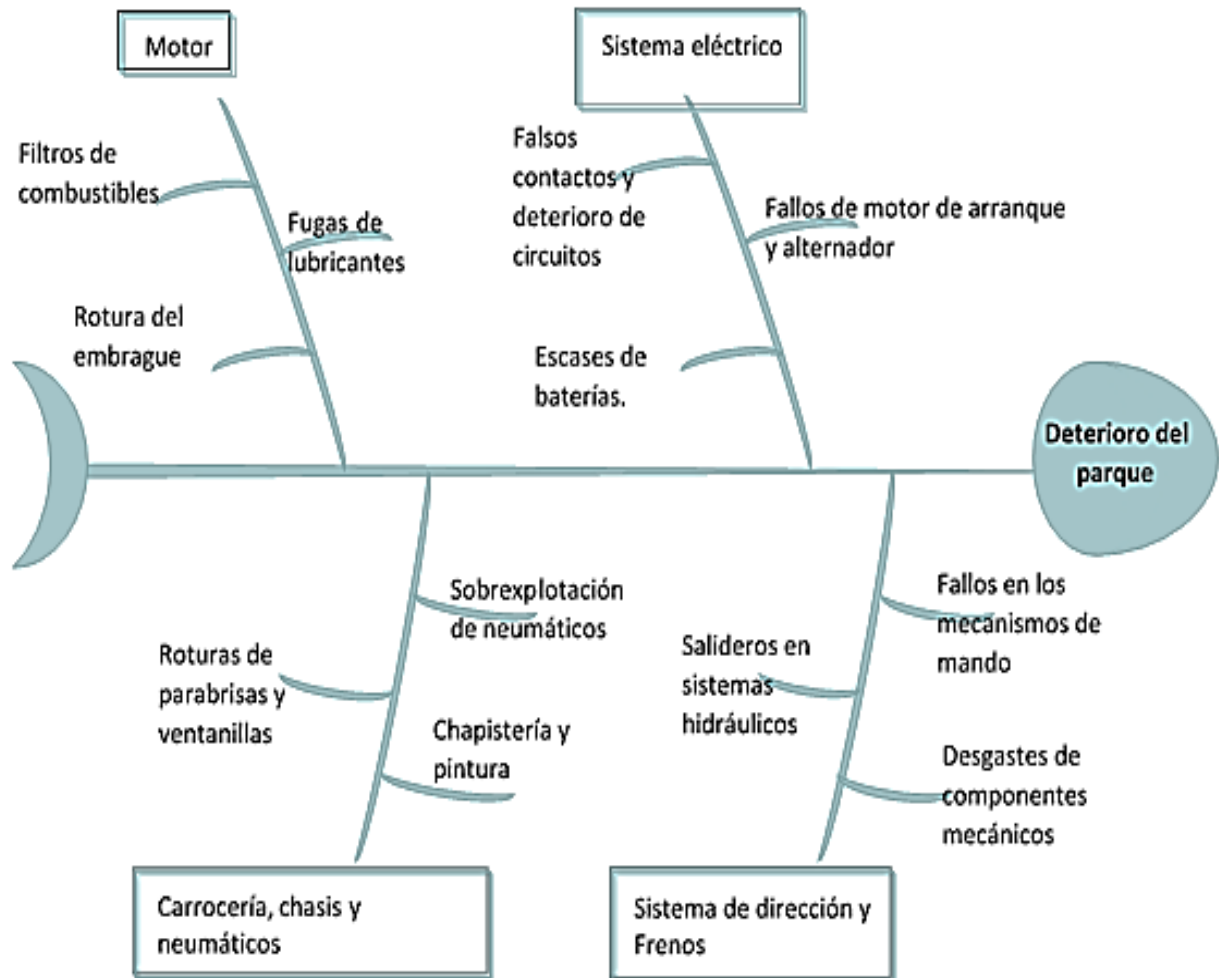
Efecto Ishikawa en el siguiente orden: Definición del efecto a analizar: El efecto que se determinó es la baja disponibilidad técnica del parque, definición de las causas primarias y las secundarias correspondientes a cada una de las anteriores y elaboración del diagrama causa-efecto: para elaborar el diagrama, se traza un eje central donde en el extremo derecho se coloca el efecto, en este caso la baja disponibilidad técnica, luego se procede a añadir las causas primarias y las subcausas que influyen en estas. El resultado se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Diagrama Causa-Efecto para analizar la gestión del mantenimiento



Igualmente, se realizó el diagrama que analiza el parque automotor. Figura 2.

Figura 2. Diagrama Causa-Efecto para analizar el parque automotor



Resultado de la aplicación del principio de Pareto

Secuencia para la elaboración del diagrama de Pareto para los autos ligeros: Identificación del problema: El problema a

analizar es el nivel de incidencia de los sistemas en las roturas de los automóviles y autos pesados y Elaboración del gráfico Diagrama de Pareto autos ligeros y autos pesados (Figura 3 y 4).

Figura 3. *Diagrama de Pareto autos ligeros*

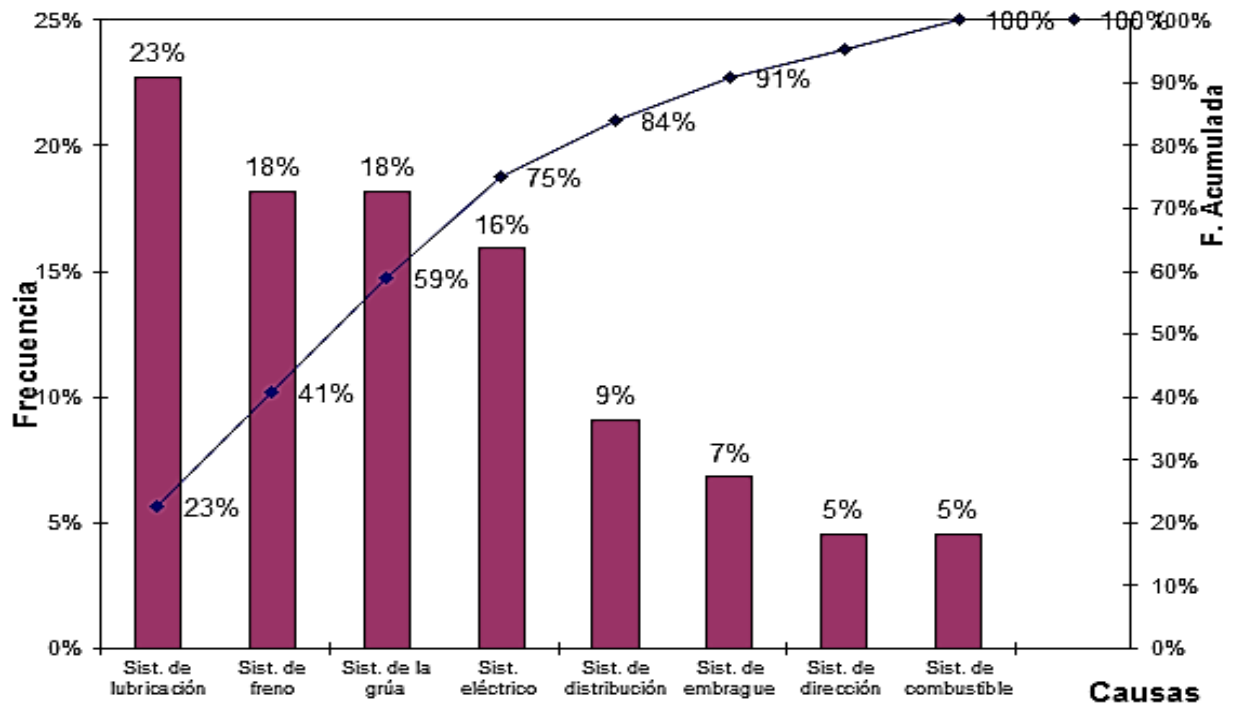
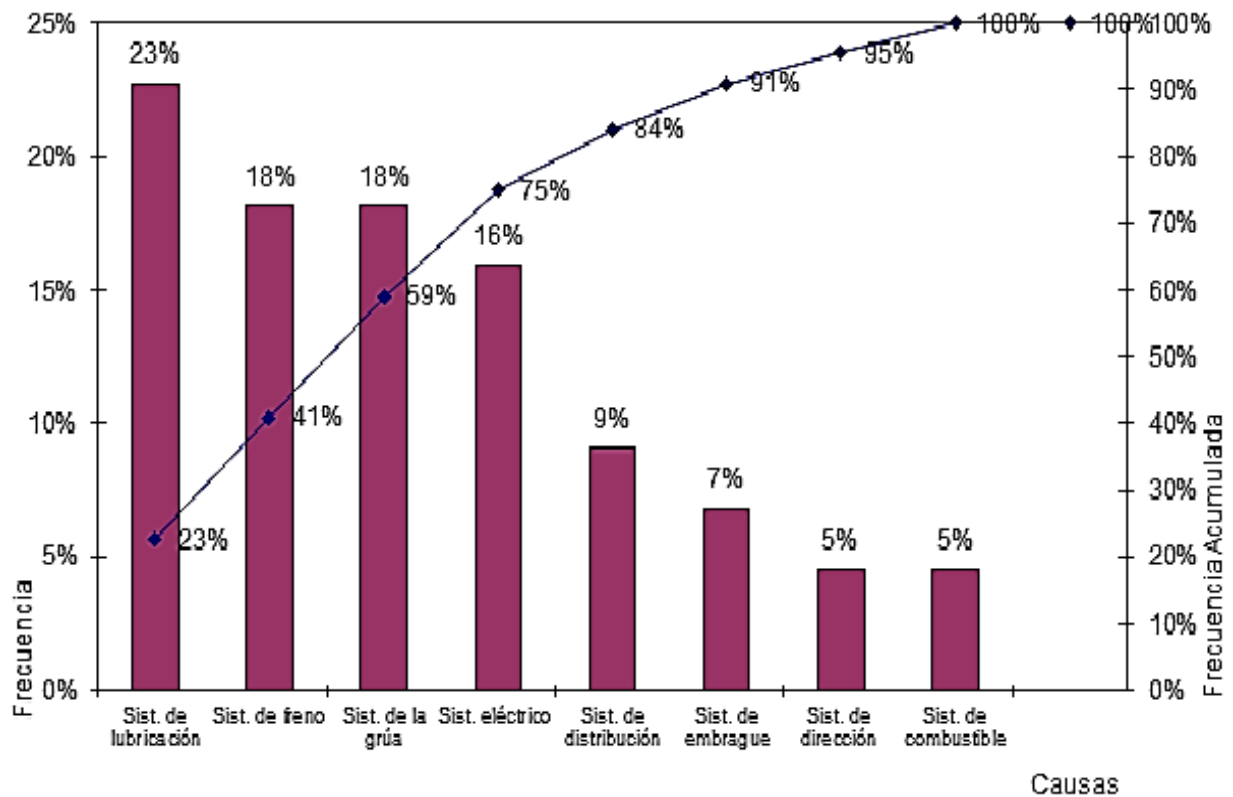


Figura 4. *Diagrama de Pareto autos pesados*



Indicadores de fiabilidad

Con la información extraída de las órdenes de trabajos se calcularon los siguientes indicadores de fiabilidad: probabilidad de trabajo sin fallos $P(t)$, probabilidad de la falla $Q(t)$, tiempo medio hasta la falla T_0 , recurso medio T_{mr} , tiempo medio de restablecimiento de la capacidad de trabajo T_b , coeficiente de reparabilidad K_p ,

coeficiente de disponibilidad K_d , coeficiente de disponibilidad operativa K_{do} .

Una vez determinados los indicadores que se pueden obtener por la información disponible en las órdenes de trabajo se procede a realizar los cálculos. Resultados Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Resultado de los indicadores de fiabilidad vehículos ligeros

Marca	$P(t)$	$Q(t)$	T_0 (hrs)	t_{mr} (km)	T_B (hrs)	K_p (%)	K_d (%)	K_{do} (%)
Fiorino	0,2	0,8	2674	91.770	128,231	0,916	99,8	20,0
Hyundai	0	1	3709,5	870	92,905	0,953	99,7	0
Mitsubishi	0,125	0,875	1849,5	153.420	49,111	0,935	99,4	12,4
Peugeot	0,4	0,6	2790,6	462.30	85,339	0,878	98,1	39,2

Tabla 3. Resultado de los indicadores de fiabilidad vehículos pesados

Marca	P(t)	Q (t)	(to)	Tmr	TB	Kp	Kd	Kdo
Hino 500	0	1	193	725,2	69,5	0,91	99	11
Hyundai	0	1	109,5	6900	130,92	0,95	63	13
Renault	1	0	1233	12000	86	0,93	98	97,8
Inter-4700	0	1	140	468,44	176	0,96	88	14
Zil-130	0,5	0,5	156	16800	62,08	0,90	28	14

Indicadores de Clase Mundial

Igualmente, la información se extrae de las órdenes de trabajo emitidas en el taller calculando los siguientes indicadores (Tabla 4 y Tabla 5): TMEF: tiempo medio

entre fallas, TMPR: tiempo medio para la reparación, TMPF: tiempo medio hasta la primera falla, DISP: disponibilidad de los equipos, CMRP: costo medio por el valor de reposición.

Tabla 4. Indicadores de clase mundial aplicados a los vehículos ligeros

MARCA	TMEF	TMPR	TMF	DISP	CMRP
Fiat	598,06	0,32	119,61	48,57	6,19
Hyundai	668,17	0,45	167,04	48,78	13,30
Mitsubishi	825,41	1,02	103,18	48,73	8,18
Peugeot	1219,33	4,43	243,87	49,05	0,92
Promedio	827,74	1,55	158,42	48,78	7,15

Tabla 5. Indicadores de clase mundial aplicados a los vehículos pesados

MARCA	TMEF	TMPR	TMF	DISP	CMRP
Hino-500	226,95	0,05	226,95	49,885	3,06
Hyundai	305,85	21,54	152,92	46,579	1,74
Renault	731,23	1,67	731,23	49,035	15,57
Inter-4700	614,19	9,57	307,09	48,529	6,76
Zil-130	45,33	114,00	22,67	10,658	0,39
Promedio	384,71	29,36	288,17	43,767	5,51

Discusión

Análisis de las causas que afectan la gestión de mantenimiento

Deficiencias en la gestión: Dado principalmente la falta de evaluación continua del sistema de mantenimiento y no adaptar el mismo a las condiciones del parque.

Recursos Humanos: La deficiente planificación de la sostenibilidad de la plantilla del taller, las fluctuaciones de la fuerza laboral en busca de mejores condiciones y la mala planificación de las capacitaciones de los especialistas.

Servicios de terceros: La principal entidad que les presta los servicios de reparación y mantenimiento es la entidad SASA, que presenta dificultades para remplazar filtros, piezas de repuesto y realizar reparaciones a los motores, esto sumado al alto costo del servicio y la calidad del mismo no es la mejor.

Aseguramiento: Afectado sobre todo por la situación económica del país, causada principalmente por el embargo del gobierno de Estados Unidos; además de la falta de gestión y planificación para la adquisición de piezas de repuesto.

Análisis de las causas primarias y secundarias sobre el deterioro del parque

Motor: Las principales incidencias en este sistema son dadas por la dificultad de sustituir los filtros de aceites y combustibles, las fallas en los embragues por el uso prolongado de los mismos y los salideros de aceites por el mal estado de las mangueras y conductos.

Sistema eléctrico: Los problemas que afectan este sistema son causados por la falta de baterías, fallos en los motores de

arranque y alternador por la falta de repuesto para los mismos además del mal estado del cableado y los circuitos.

Carrocería y Chasis: En el caso de la estructura de los vehículos, el tiempo de uso de estos, ha incidido en el deterioro de la carrocería y los chasis, la falta de chapistería y pintura provoca la aparición de zonas con presencia de óxido, además de los recurrentes problemas con la sustitución de los neumáticos.

Dirección y frenos: Las difíciles condiciones de explotación, dadas principalmente por la mala calidad de las vías, provocan afecciones en los elementos rígidos y los mecanismos de mando, provocando salideros en los sistemas hidráulicos de estos.

Autos pesados: el sistema de lubricación es el que más fallas presentó, siendo el único sistema que está por encima del 80% de incidencia, siendo el principal elemento que provoca la frecuencia de visitas al taller y el principal causante de la baja disponibilidad de los equipos, además es la principal causa de interrupciones en el servicio de mantenimiento e incremento de la Red, esto significa, que trabajando en esta problemática se pueden disminuir la frecuencia de paradas innecesarias y de reparaciones no programadas.

Autos ligeros: el sistema eléctrico es el que mayores fallas presentó, las incidencias de este sistema en la baja disponibilidad de los equipos es notablemente alta siendo la principal causa de interrupciones en el servicio. Por tanto, atacando directamente los problemas de este sistema junto con el de lubricación provocaría una disminución

notable en las visitas no programadas al taller.

Análisis de los indicadores de fiabilidad

1- La fiabilidad del parque estudiado es baja como demuestran los resultados del cálculo de la probabilidad de trabajo sin fallos (Pt), que en ninguno de los casos supera el 40%.

2- Todos los equipos poseen un alto coeficiente de reparabilidad demostrando que las fallas son de fácil solución se pueden prevenir si las tareas de mantenimiento se realizaran con calidad.

3- La disponibilidad operativa (Kdo) en los casos estudiados, con excepción de los vehículos pesados Renault, se evalúan de mal al no superar estos el 85%.

Análisis de los resultados de los Indicadores de Clase Mundial.

1- Los valores coeficiente de disponibilidad no superan el 50% Según la literatura utilizada por las empresas a nivel mundial, los resultados mayores de 95% son considerados como excelentes, mientras que entre un 90% y 94% se definen buenos, entre 85% y 89% su evaluación es regular e inferiores a un 85% son resultados deficientes para este tipo de estudio.

2- Los gastos en la solución de fallas y por mantenimiento planificado, supera el valor de la reposición de los vehículos estudiados, principalmente por el tiempo que llevan en explotación.

CONCLUSIONES

La gestión de los recursos humanos y materiales en el ámbito del mantenimiento presenta deficiencias significativas que impactan la calidad de los servicios. El análisis realizado mediante el diagrama causa-efecto revela que no se planifica adecuadamente la incorporación de personal especializado ni se promueve la superación continua del personal existente en nuevos métodos de diagnóstico y mantenimiento. Además, la situación económica del país ha dificultado la identificación y aseguramiento de los componentes esenciales para llevar a cabo mantenimientos de calidad.

El envejecimiento del parque vehicular es otro factor crítico, ya que muchos de los vehículos utilizados para las operaciones

de mantenimiento y ampliación de la red tienen más de 15 años de explotación. Esto implica que los ciclos de mantenimiento deben ser acortados y que los trabajos realizados en estos vehículos deben ser más rigurosos y de mejor calidad para garantizar su operatividad.

Se ha observado que los sistemas eléctricos y de lubricación son los que presentan las mayores cifras de incidencia en fallas. Abordar las problemáticas que afectan a estos sistemas podría resultar en una disminución significativa de las interrupciones no planificadas y en una reducción de las visitas constantes al taller. Los mantenimientos planificados han mostrado una calidad insuficiente. El indicador de tiempo medio para la

reparación (TMR) sugiere que las fallas se solucionan con relativa facilidad y en poco tiempo. Esto indica que, si se realizaran revisiones más rigurosas durante los mantenimientos planificados, se podrían reducir considerablemente las interrupciones.

En la mayoría de los casos, los gastos en mantenimiento y reparación superan el costo de adquirir un vehículo nuevo. Este hallazgo, evidenciado a través del

indicador de costo medio de reposición, subraya la necesidad de reevaluar las estrategias de mantenimiento y considerar inversiones más eficientes que garanticen la sostenibilidad y efectividad de las operaciones.

Se requiere implementar mejoras en la gestión de recursos y en los procesos de mantenimiento para optimizar la operatividad y reducir costos a largo plazo.

REFERENCIAS

Arrustico Loyola, J. D. (2021). *Propuesta de una gestión de mantenimiento de clase mundial para incrementar la productividad en refinerías de petróleo en el Perú-2020* [Tesis de maestría, Universidad Privada del Norte]. Repositorio UPN. <https://hdl.handle.net/11537/26149>

Casaña Medel, J. C., de la Rosa Andino, A. A., Macías Socarrás, I., Morales Tamayo, Y., Zamora Hernández, Y. K., & Aguilera Corrales, Y. (2021). El mantenimiento a partir de los indicadores de clase mundial en la fábrica Lácteos Bayamo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(3), 72-82. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/1455/pdf>

Chávez, L.-F., De-La-Rosa, S.-E., Manjarres, J.-C., Valbuena, S.-G., & Becerra-Torres, M. (2024). Diagrama de Pareto. Perspectiva de la Asignatura de Control de la Calidad. *Boletín de*

Innovación, Logística y Operaciones, 6(1), 51-56. <https://doi.org/10.17981/bilo.6.1.2024.07>

Fernández Sánchez, M. & Shkiliova, L. (2012). Validación de un método para el cálculo de indicadores de mantenimiento. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(4), 72-79. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/12/11>

Gallegos Londoño, C. M., Viscaíno Cuzco, M. A., & Sergio Raúl, S. R. (2020). Estudio de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad aplicado a grupos electrógenos Prime. *ConcienciaDigital*, 3, 44-61. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.1266>

García Fernández, G., & Vizcaíno Zaballa, R. (2009). Técnicas de diagnóstico en mantenimiento de los servicios de hemodiálisis. *Ingeniería Industrial*, 30(1), 1-4.

<https://rii.cujae.edu.cu/index.php/revistaind/article/view/246/232>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.

Lamingo Chingo, C. P., & Toctaguano Robalino, F. F. (2019). *Propuesta de metodología de mantenimiento de clase mundial (MCM) en el área molinos del grupo FAMILIA en Planta Lasso* [Proyecto de Titulación, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio UTC. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5605>

León Rodríguez, I. X., Espín Canga, L. H., & Gallegos Gallegos, S. B. (2021). Método general de solución de problemas y diagrama de Ishikawa en el análisis de los efectos de los femicidios en el entorno familiar. *Conrado*, 17(79), 252-260. <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/1721>

Martínez Delgado, E., Cabrera Gómez, J., & Arce Castro, B. A. (2019). Diagnóstico del servicio de mantenimiento de grupos

electrógenos de emergencia. *Ingeniería Mecánica*, 22(2), 92-99.

<https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/609>

Mishra, A. K., Shrivastava, D., & Rastogi, R. (2022). An efficient Jaya algorithm for joint optimization of preventive maintenance and quality policy in production systems. *Proceedings of CIRP*, 107, 1299-1304. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.01.001>

Padilla Quispe, H. A. (2019). *Aplicación de un plan de mejora en la gestión de maquinarias y equipos basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la empresa Construmaq Perú SA*. [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Privada del Norte]. Repositorio UPN. <https://hdl.handle.net/11537/25994>

Parra, C. M. y Crespo, A. M. (2020). Técnicas de Auditoría aplicadas en los procesos de Gestión del Mantenimiento y de la Confiabilidad. *Technical Series: Reliability, Maintenance and Asset Management*. Whitepaper # IV. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10169.60003>

Autores

Lilian Chaviano Tovar. Universidad de Camagüey, Cuba.

ORCID: <https://orcid.org/0000>

Email: lilian.chaviano@reduc.edu.cu; chaviano2010@gmail.com

Dayner Manzo Pinto. Universidad de Camagüey, Cuba.

ORCID: <https://orcid.org/0000>

Email: dayner.manzo@reduc.edu.cu

Neeldes Matos Ramírez. Universidad de Camagüey, Cuba.

ORCID: <https://orcid.org/0000>

Email: neeldes.matos@reduc.edu.cu

Recibido: 09-02-2024

Aceptado: 18-05-2025

Revista Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias

Normas para Publicación

La Revista “*Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias*” tiene como objetivo divulgar resultados de investigaciones en las áreas de ingeniería de métodos, ergonomía, productividad y calidad, investigación de operaciones, sistemas de producción e inventarios, logística, cadenas de suministro, simulación, estadística aplicada, y en general aquellos temas en los cuales la Ingeniería Industrial converge con otras ciencias.

La Revista acepta trabajos que puedan ser incluidos en las siguientes secciones: Artículos de Investigación, Artículos de Divulgación (de interés general), Información y/o Resumen de Eventos Académicos relacionados con la Ingeniería Industrial y Reseñas Bibliográficas, Notas Técnicas o Estados del Arte, relacionados con Ingeniería Industrial.

Todos los trabajos deben ser originales e inéditos, en idioma español, inglés o portugués, y no estar en proceso de arbitraje por otras revistas. Si el trabajo se presentó en algún evento científico o similar, se deben suministrar los detalles correspondientes (nombre completo, fecha, lugar, institución organizadora).

Aspectos Formales

-**Título:** breve y claro

-**Datos del Autor o Autores:** presentar los nombres completos de los autores y su afiliación institucional, incluyendo: títulos, correo(s) electrónico(s), institución de procedencia. Los autores deben presentar su ORCID (“*Open Researcher and Contributor ID*”, <https://orcid.org/>).

-**Redacción adecuada.** Escrito en Mayúsculas y minúsculas, según reglas gramaticales y en tercera persona.

-**Ortografía.** No presentar faltas de ortografía. Cuidar la acentuación y puntuación.

Especificaciones del Formato

-**Tamaño del papel y márgenes:** carta, márgenes superior e inferior 2,5 cm., izquierdo y derecho 3 cm.

-**Tipo de letra Times New Roman**, tamaño 12, justificado, un espaciado (6 puntos) entre párrafos, sin sangría e interlineado doble.

-**Extensión:** no menor de diez ni mayor de 30 páginas.

-**Ilustraciones:** el artículo puede contener cualquier tipo de ilustración (fotografía, dibujo, gráfico, cuadro o tabla, y deberá llevar su debida identificación y referencia previa. Las fotos deben contener pie de foto explicativo, y cualquier tipo de imagen debe ser de alta calidad en formatos TIFF o JPG. Los dibujos o esquemas deben ser en original, y ser incrustados como imágenes no editables dentro del texto (evitar imágenes producidas por la agregación de múltiples objetos). El editor solicitará las tablas y figuras en formato editable.

Estructura del Contenido**Artículos de Investigación**

Resumen en español (o portugués) e inglés (Abstract): debe contener los aspectos básicos del artículo: planteamiento del problema, metodología usada y breve reseña de los resultados. El número de palabras no debe exceder de 250.

a. **Introducción:** señalar en qué consiste el trabajo completo, su objetivo, antecedentes, estado actual del problema e hipótesis del estudio.

b. **Metodología:** describir en forma precisa el procedimiento realizado para comprobar la hipótesis y los recursos empleados en ello.

c. **Resultados:** expresar el producto del trabajo con claridad; se pueden presentar también datos de medición o cuantificación.

d. **Discusión:** interpretar los resultados de acuerdo con estudios similares, enunciar ventajas del estudio, sus aportaciones, evitando adjetivos que elogien los resultados.

e. **Conclusiones:** precisar qué resultados se obtuvieron y si permitieron verificar la hipótesis, plantear perspectivas del estudio, la aplicación de los resultados.

f. **Referencias bibliográficas:** enlistar en orden alfabético las principales fuentes bibliográficas consultadas y citadas, siguiendo las normas de la APA vigentes. Cuanto sea aplicable, debe incluir el DOI (*Digital Object Identifier*).

Artículos de Divulgación

Corresponde a artículos de temas relevantes de ciencia, tecnología, entre otros, que van dirigidos al público profesional y académico, por lo que deben ser escritos en lenguaje claro y accesible. La presentación del contenido dependerá de la naturaleza del tema, sin embargo, se recomienda la estructura general del artículo de investigación. Se establece hasta un máximo de tres autores para artículos de revisión documental, en general para aquellos que no contemplen investigación experimental o análisis de datos cuantitativos.

En general, las normas de redacción, presentación de tablas y gráficos, uso de citas de cualquier tipo, señalamientos de autores, referencias bibliográficas y electrónicas y otros aspectos editoriales deben ajustarse a las Normas de la “*American Psychological Association*” (APA). Como orientación para los autores en la presentación de las referencias bibliográficas, a continuación, se presentan los casos más usados:

Libro:

Gutiérrez, H. (2020). *Calidad Total y Productividad, quinta edición*. McGraw-Hill Interamericana de España.

Revista (Publicaciones periódicas):

Lima, L. & Tinoco, M. (2022). Avaliação da percepção de valor do cliente de jornais digitais: estudo de caso de uma empresa jornalística na região sul do Brasil. *Revista Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias*, 8(28), 27–52. <https://doi.org/10.54139/riiant.v8i28.377>

Instrucciones de Envío

Para enviar un artículo es necesario que el documento cumpla estrictamente con los lineamientos de formato y de contenido anteriormente especificados. **No se aceptarán trabajos que no cumplan con las normas establecidas en este documento.** El trabajo debe enviarse a la siguiente dirección electrónica: revistaiiaynt@gmail.com, con copia a revistaiiaynt@uc.edu.ve.

Sistema de arbitraje

Todos los trabajos a publicarse se someterán a un proceso de evaluación anónima (revisión ciega) por parte de especialistas (revisión por pares), donde participan evaluadores externos. Antes de enviar el trabajo (sin identificación) al Comité Científico para el proceso de arbitraje, el Comité Editorial revisa el cumplimiento de los requisitos de forma y el ajuste a los objetivos de la Revista, por lo que podrá realizar correcciones gramaticales y modificaciones literarias, que no alteren el sentido sin consultar con el autor.

De acuerdo con el formato establecido, el Comité Científico podrá dictaminar si el trabajo es: Publicado sin correcciones, Publicado después de correcciones, Publicado después de corregir extensivamente y No publicar. Una vez realizado el arbitraje por parte del Comité Científico, el Comité Editorial recopila los resultados y los envía a los autores. Cualquier controversia en el dictamen será resuelta por el Comité Editorial.

Generalidades

Los contenidos de los trabajos que aparecen en la Revista “*Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*” son de la entera responsabilidad de sus autores. De ser aceptado el trabajo, el autor principal recibirá la versión digital vía correo electrónico.

Los artículos publicados en la Revista “*Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias*” son de su propiedad, por lo que se reserva los derechos de distribución de los contenidos. Podrán ser reproducidos con autorización escrita del Editor.

Política de Acceso Abierto Inmediato (AAI). La Revista “*Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias*” permite leer, descargar, copiar, distribuir, imprimir, buscar o vincular los textos completos de sus artículos, de manera inmediata y gratuita después de su publicación; así mismo, no efectúa cargos monetarios por revisión, procesamiento, evaluación o publicación de artículos (cargos por procesamiento de artículos “APC”) a autores y/o instituciones.

Comité Editorial
Junio, 2025

Editorial

Artículos de investigación

- Plan de mejora para la reactivación del proceso de recuperación de condensado del sistema de vapor en una empresa cervecera 7-28

Improvement plan for the reactivation of the steam system condensate recovery process in a brewery company

María Carolina García, Adriana Ramírez Terife, Mariangel Sánchez Neira

- Innovaciones organizacionales para la creación de valor en organizaciones de salud: un estudio de caso 29-48

Organizational innovations for value creation in healthcare organizations: a case study

Dario Maximiliano Dimarco, Luciana Belén Tabone

- Modelo de gestión de residuos mediante Dinámica de Sistemas orientado al reciclaje para Oberá, Misiones, Argentina 49-64

Waste management model using Systems Dynamics for recycling in Oberá, Misiones, Argentina

Sonia Romina Niezwida, Juan Carlos Michalus, Graciela Beatriz Gavazzo

Artículos de divulgación

- Efecto de la deformación por torsión a 2450° en la recristalización del acero ASTM A-36 67-78

Effect of torsion deformation at 2450° on the recritalization of ASTM A-36 steel

Carmen Osorio, Victoria Armas, Carlos Alfonzo, Neyda Severian

- Diagnóstico del sistema de mantenimiento de la sucursal Empresa de Telecomunicaciones Camagüey 79-96

Diagnosis of the maintenance system of the Camagüey Telecommunications Company branch

Lilian Chaviano Tovar, Dayner Manzo Pinto, Neeldes Matos Ramírez

- Normas para publicación 97-98