

# +INGENIO

Revista de Ciencia Tecnología e Innovación

Edición enero-junio 2024 Vol. 5 N° 1  
ISSN 2618-5520 on line



▪ Facultad de Ingeniería / Universidad Nacional de Misiones / Argentina



## FACULTAD DE INGENIERÍA UNaM

### AUTORIDADES

**Decana:** Mtr. Ing. María Claudia Dekun  
**Vicedecano:** Mgtr. Ing. Hugo Orlando Reinert  
**Secretaría Académica:** Arq. Hilda Marta Adelina Cámpora  
**Secretario de Ciencia y Técnica:** Mgtr. Ing. Alejandro J. Kerkohf  
**Secretario de Posgrado:** Mgtr. Ing. Carlos Rubén Brázzola  
**Secretario de Extensión:** Mgtr. Ing. Marco Paolo Bárbaro  
**Secretaría de Asuntos Estudiantiles:** Srta. Florencia Rocío E. Lima  
**Secretaría Administrativa:** D.G. Silvina Luciana Barrios

## EQUIPO EDITORIAL

### DIRECCIÓN EDITORIAL

#### Editor en Jefe

Dr. Ing. Rubén Orlando Núñez

#### Co-Editores

PostDr. Ing. Mario Orlando Oliveira  
PostDr. Ing. Mario José Mantulak  
PostDr. Ing. Gustavo Bogado  
PostDr. Ing. Juan Esteban Miño Valdés

### COMITE EDITORIAL

Dr. Ing. Arturo Suman Bretas, Universidad de Florida. Estados Unidos.  
Dr. Ing. José Renes Pinheiro, Universidad Federal de Santa María. Brasil.  
Dr. Ing. Daniel Gustavo Allasia Piccilli, Universidad Federal de Santa María. Brasil.  
Dr. Ing. Alejandro Germán Frank, Universidad Federal de Río Grande del Sur. Brasil.  
Dr. Ing. Gilberto Dionisio Hernández Pérez, Universidad Central de Las Villas. Cuba.  
Dr. Ing. Erenio Gonzalez Suarez, Universidad Central de las Villas. Cuba.  
Dr. Ing. Amaury Pérez Martínez, Universidad Estatal Amazónica. Ecuador.  
Dr. Ing. Juan Carlos Michalus, Universidad Nacional de Misiones. Argentina.  
Mgter. Ing. Victor Andrés Kowalski, Universidad Nacional de Misiones. Argentina.  
Mgter. Arq. Delia Klees, Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.  
Dr. Ing. Gustavo Aucar, Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.  
Dr. Ing. Jorge Víctor Pilar, Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.  
Dr. Ing. Mario De Bórtoli, Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.  
Dra. Ing. Gabriela Corsano, CONICET-UTN, Universidad Nacional del Litoral. Argentina.  
Dra. Ing. Ada Judith Franco, Universidad Nacional de Salta. Argentina.  
Dra. Ing. Nora Okulik, Universidad Nacional del Chaco Austral. Argentina.  
Dr. Ing. Raymundo Quilez Forradellas Martínez, Universidad Nacional de Cuyo. Argentina.  
Mgtr. Ing. Liliana Raquel Cuenca Pletsch, Universidad Tecnológica Nacional. Argentina.  
Dr. Ing. Oscar Möller, Universidad Nacional de Rosario. Argentina.  
Dr. Ing. Guillermo Rubén Bossio, Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina.  
Mgter. Ing. Raúl Barral, Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina.  
Dr. Ing. Gustavo Ernesto Maffia, Universidad Nacional de la Plata. Argentina.  
Dr. Alejandro Yawny, Instituto Balseiro (CAB). Argentina.

#### Revisor de estilo para el idioma inglés

Dra. Lic. en Lengua Inglesa Gladys González Carreras, Universidad Nacional de Misiones, Argentina.  
Mgtr. Lic. en Inglés Graciela Noemi Fritz, Universidad Nacional de Misiones. Argentina.

# Índice

- 05** **Nota editorial**  
*Mtr. Ing. María C. Dekun, Decana de la Facultad de Ingeniería UNaM*
- 07** **Prólogo**  
*Dr. Ing. Rubén Orlando Núñez. Jefe Editor +INGENIO.*
- 09** **Análisis de Homogeneidad, Tendencias y Saltos de las Precipitaciones en la Provincia de Misiones.**  
*Fátima Schoninger, Alberto Ismael Juan Vich, Darío Tomás Rodríguez, José Javier Fernández, Ariana Giselle Seufert.*
- 25** **Los Métodos Matemáticos en las Tesis de Formación Doctoral Conducidas por la Universidad en la Industria Química.**  
*Erenio González Suárez, Diana N. Concepción Toledo, Juan Esteban Miño Valdés.*
- 36** **Formación de Doctores en la Estrategia de Gestión del Conocimiento para Desarrollar la Industria de la Caña de Azúcar como Biorrefinerías.**  
*Erenio González Suárez, Diana N. Concepción Toledo, Juan Esteban Miño Valdés, Ana C. de Armas Martínez, Juan P. Hernández Touse.*
- 48** **Cambio del Sistema de Enfriamiento de un Motor Diésel Acoplado a una Bomba de Agua.**  
*Neeldes Matos Ramírez, David L. Carballea Cabrera, Isnel Benítez Cortés, Juan Esteban Miño Valdés.*
- 58** **Información Tecnológica Para Desarrollar una Campana Extractora de Cocina.**  
*Rodolfo Saúl Cohen, Mario José Mantulak, Juan Esteban Miño Valdés.*
- 70** **Cálculo y Diseño de un Anillo de Desgaste de Cierre Escalonado Para Bombas Centrífugas.**  
*David L. Carballea Cabrera, Neeldes Matos Ramírez, Isnel Benítez Cortés, Juan Esteban Miño Valdés.*

## COMITE DE REVISIÓN

Dra. Ana Celia de Armas Martínez  
Dr. Erenio González Suárez  
Dr. Fernando Ramos Miranda  
Dr. Miguel Angel Aguirre  
Dr. Omar Pérez Navarro  
Dr. Pablo Galindo Llanes  
Ing. Rubén Carlos Cinauski

## EQUIPO TÉCNICO

### Soporte Técnico:

Lic. Miryan Rosana Puchini, Universidad Nacional de Misiones - Facultad de Ingeniería, Argentina.

### Diseño de Tapa y Formato de Publicación:

D.G. Damián Leandro Kallus, Universidad Nacional de Misiones - Facultad de Arte y Diseño, Argentina.

## COLABORADORES

### Dirección de Tecnologías de la Información y Comunicaciones

A.S.C. Evaldo Meinel, Universidad Nacional de Misiones - Facultad de Ingeniería, Argentina.  
Lic. Lucas Podkowa, Universidad Nacional de Misiones - Facultad de Ingeniería, Argentina.

## EDITORIAL RESPONSABLE

Facultad de Ingeniería C.P.: 3360 Juan Manuel de Rosas 325. Oberá Misiones Argentina.  
Es una publicación de la Secretaría de Ciencia y Técnica y la Secretaría de Posgrado de la Facultad de Ingeniería UNaM.





## Nota Editorial

### Aniversario N°50 de la Facultad de Ingeniería de la UNaM.

Es un honor para nosotros, los que formamos parte de esta comunidad educativa, de ser testigos de esta nueva conmemoración, la cual no es ni más ni menos que la celebración del 50° aniversario de nuestra querida Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones. Es la conmemoración de medio siglo de dedicación, esfuerzo y logros en el ámbito de la ingeniería y la formación de profesionales comprometidos con el desarrollo y el bienestar de nuestra región, el país y el mundo.

Es importante para reflexionar acerca de este momento abordando diferentes aspectos de este proceso:

Los inicios, resaltando y destacando la visión de las personas que integraron la Comisión Pro Facultad, quienes realizaron las gestiones para que en el año 1974 diera inicio sus actividades la Facultad de Ingeniería en Oberá. Estas personas, a quienes “debemos” poder estar aquí hoy, tuvieron la visión sobre la importancia de contar con carreras universitarias para el desarrollo y crecimiento de la región, sin dudas, es un hito en esta ciudad y todo el impacto positivo que significó, entre otros, el arribo a la ciudad de cientos de jóvenes, quienes años tras años, han sido propulsores del crecimiento, en varios aspectos, de nuestra querida ciudad de Oberá.

Durante estas cinco décadas, hemos sido testigos de numerosos avances y transformaciones. Nuestros estudiantes han enfrentado desafíos y superado obstáculos, siempre con la mira puesta en el progreso y la excelencia. Nuestros graduados han llevado consigo no solo conocimientos técnicos, sino también un profundo compromiso con los valores de integridad, responsabilidad y servicio a la sociedad.

Un reconocimiento especial a los Docentes, quienes, con pasión y dedicación, han formado generaciones de profesionales capaces de enfrentar los retos, cada vez más exigentes del mundo moderno. Sus labores incansables han sido el fundamento sobre el cual se han construido los éxitos de nuestra facultad.

Otro gran reconocimiento especial a los Nodocentes, cuyo trabajo diario posibilita que todo funcione con el mejor de los detalles de excelencia posible, entre otras, pueden nombrarse las tareas de administración, de mantenimiento, de contratación de insumos y servicios, de laboratorios, de albergues y servicios del comedor estudiantil, y las relacionadas con cada una de las áreas de gestión que abordan las políticas institucionales.

Actualmente, si realizamos una mirada hacia atrás, observamos con orgullo los logros alcanzados: como la expansión de nuestras carreras, la inauguración de nuevos laboratorios, la realización de proyectos innovadores y la vinculación con empresas e instituciones, las cuales nos permite realizar ajustes de mejoras en relación con la experticia de cada una de nuestras carreras.

La Facultad de Ingeniería, hoy día, cuenta con más de 2230 graduados, 2000 estudiantes, 210 docentes y 57 Nodocentes, además, de las siguientes ofertas académicas:

**Seis carreras de pregrado:** Tecnicaturas en electrónica, en mantenimiento industrial, en instalaciones eléctricas, en equipamiento agroindustrial, en energías renovables, en gestión y mantenimiento foresto industrial, siendo esta última dictada en conjunto con la Facultad de Ciencias Forestales.

**Siete carreras de grado**, seis carreras de Ingenierías: Electromecánica, Electrónica, Civil, Industrial, En computación y Mecatrónica; y una licenciatura en Higiene y Seguridad en el Trabajo, con título intermedio de Técnico en Higiene y Seguridad en el Trabajo.

**Seis carreras de posgrado:** Dos especializaciones en Higiene y Seguridad en el Trabajo y en Gestión de la Producción y Ambiente. Dos doctorados: en Ingeniería y en Ingeniería Industrial. Dos maestrías: en electrónica y en ingeniería de la energía.

Este abanico de ofertas académicas ha sido posible gracias, al arduo trabajo en equipo, la perseverancia, el apoyo incondicional de cada miembro de nuestra comunidad y de las políticas de estado que posibilitaron el avance institucional. El crecimiento de la infraestructura edilicia y de equipamiento de laboratorios, los cuales hacen posible el desarrollo de las actividades académicas de las diferentes carreras y de las actividades de investigación.

En esta casa de estudios se forman ingenieros, licenciados, técnicos, especialistas, doctores y en ese marco se comparten muchas horas, se realizan prácticas deportivas, culturales, recreativas, el trabajo comunitario con las actividades de extensión, el coro universitario, las peñas, los voluntariados y todo lo que hace a nuestra vida cotidiana. Todo esto es la Facultad de Ingeniería, es nuestra cultura institucional, en el centro están las personas, cada uno es importante y su aporte desde el lugar que ocupa es único e irrepetible.

Pero más allá de los logros tangibles, lo que realmente define a nuestra facultad es el espíritu de colaboración y el deseo de hacer una diferencia en el mundo. En un momento en que el conocimiento y la tecnología evolucionan a un ritmo vertiginoso, estamos llamados a seguir adaptándonos y creciendo, a buscar nuevas formas de contribuir al desarrollo sostenible y a enfrentar los desafíos globales.

Se invita, en este aniversario, a celebrar con gratitud el pasado, vivamos con entusiasmo el presente y abracemos con optimismo el futuro. Sigamos trabajando juntos para mantener a nuestra Facultad de Ingeniería en la vanguardia de la educación y la innovación, para que continúe siendo un faro de conocimiento y un agente de cambio positivo en nuestra sociedad.

Para ir cerrando esta editorial, quiero desearles felicitaciones a todos por estos 50 años de historia y éxitos. Sigamos adelante con el mismo compromiso y la misma pasión que nos han llevado hasta aquí.

¡Feliz aniversario a nuestra querida Facultad de Ingeniería!

Saludos cordiales,

**Mtr. Ing. María C. Dekun**  
*Decana Facultad de Ingeniería–UNaM*

## Prólogo

Con el objetivo de continuar con el compromiso de contribuir a la divulgación de resultados obtenidos en investigaciones científicas, tecnológicas, académicas e innovación de distintas áreas del saber, la revista +INGENIO presenta este nuevo número. En esta ocasión se exponen seis artículos, enviados por investigadores de Argentina y Cuba.

El primer artículo refiere al **Análisis de homogeneidad, tendencias y saltos de las precipitaciones en la provincia de Misiones (Argentina)**. Este trabajo contribuye con importantes aportes de información sobre la variabilidad de precipitaciones, en una de las regiones de la provincia que evidencia carencia de datos confiables.

El segundo y el tercer artículo, titulados: **Los métodos matemáticos en las tesis de formación doctoral conducidas por la universidad en la industria química** y **Formación de doctores en la estrategia de gestión del conocimiento para desarrollar la industria de la caña de azúcar como biorrefinerías**, respectivamente; destacan la importancia de una buena comunicación entre la industria y la universidad. Ambos, dejan en evidencia como esta relación puede ayudar a definir temas de investigación que contribuyan tanto al desarrollo industrial, mejorando los procesos productivos, como a la formación de recursos humanos idóneos para la correcta dirección de dichos procesos.

En el cuarto artículo, titulado: **Cambio del sistema de enfriamiento de un motor diésel acoplado a una bomba de agua**, se presentan conclusiones obtenidas del estudio de evaluación de la viabilidad técnica y ambiental al cambiar los sistemas de enfriamiento de los motores de combustión interna por un sistema de intercambiador de calor de tubo y coraza, acoplado a cada bomba de agua.

En el quinto artículo se expone la **Información tecnológica para desarrollar una campana extractora de cocina**, investigación desarrollada para una empresa metalmecánica de nuestra provincia (Misiones, Argentina). En este trabajo se obtuvieron resultados relevantes para la empresa, como definiciones técnicas que mejoran la producción y aspectos relacionados con la demanda del producto desarrollado.

En el sexto y último artículo, titulado **Cálculo y diseño de un anillo de desgaste de cierre escalonado para bombas centrífugas**, se propone un diseño del anillo de desgaste para bombas centrífugas; con el cual se logra aumentar la carga entregada por el equipo y mejorar su eficiencia volumétrica.

Agradecemos a todos los que colaboraron para que este nuevo número de +INGENIO sea posible y festejamos su publicación en el año del aniversario N° 50 de la Facultad de Ingeniería de la UNaM.

**Dr. Ing. Rubén Orlando Núñez**  
*Jefe Editor +INGENIO*  
*Facultad de Ingeniería–UNaM*



## Análisis de Homogeneidad, Tendencias y Saltos de las Precipitaciones en la Provincia de Misiones

Fátima Schoninger<sup>a,b,\*</sup> , Alberto Ismael Juan Vich<sup>c,d</sup>,  
Darío Tomás Rodríguez<sup>a</sup>, José Javier Fernández<sup>a,b</sup>, Ariana Giselle Seufert<sup>a,b</sup> 

<sup>a</sup> Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ingeniería. Misiones, Argentina.

<sup>b</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET).

<sup>c</sup> Universidad Nacional de Cuyo. Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras. Mendoza, Argentina.

<sup>d</sup> Centro Científico Tecnológico CONICET – MENDOZA.

e-mails: fatima.schoninger@fio.unam.edu.ar, aijvich@mendoza-conicet.gob.ar, dario.rodriguez@fio.unam.edu.ar,  
jose.fernandez@fio.unam.edu.ar, ariana.seufert@fio.unam.edu.ar

---

### Resumen

A partir de la necesidad de la gestión integral de recursos hídricos, los hidrólogos requieren conocer los componentes del ciclo hidrológico y su comportamiento ante la presencia del cambio climático. Actualmente muchos investigadores dirigen sus estudios a la identificación de tendencias en series de variables hidrometeorológicas, utilizando pruebas paramétricas y no paramétricas. En este artículo se presenta un análisis de precipitaciones del periodo 1991-2018 para 14 estaciones de la provincia de Misiones. Tiene como objetivo detectar tendencias o cambios graduales y cambios abruptos o saltos en los valores medios de una serie de precipitaciones de 28 años, en una región que evidencia carencia de datos confiables con relación a la variabilidad de precipitaciones en la provincia. Para ello, se estudió previamente las condiciones de normalidad, aleatoriedad e independencia, para luego realizar el análisis de tendencias o saltos. Además, se evaluó la consistencia y homogeneidad de datos. Se realizó un análisis exploratorio de datos considerando los supuestos de normalidad, aleatoriedad e independencia, donde el 13% de los datos no cumple con uno o más de los tres supuestos. Además, se llevaron a cabo pruebas paramétricas y no paramétricas para detectar tendencias y saltos en la serie, que arrojaron como resultados que el 5% de los datos presenta una tendencia, de los cuales el 69% es positiva y el 31% con tendencias negativas. Con respecto a los saltos detectados el 58% resultaron ser positivo.

**Palabras Clave:** Precipitaciones, Serie de datos, Tendencia, Salto, Homogeneidad de datos.

---

### Abstract

Based on the need for comprehensive management of water resources, hydrologists need to know the components of the hydrological cycle and their behavior in the presence of climate change. Currently, many researchers direct their studies to identify trends in series of hydrometeorological variables, using parametric and non-parametric tests. This article presents an analysis of rainfall during the period 1991-2018 for 14 stations in the province of Misiones. The objective is to detect trends or gradual changes and abrupt changes or jumps in average values of a 28-year series of rainfall, considering there is a lack of reliable data regarding the variability of rainfall in the province. For this, the conditions of normality, randomness and independence were previously studied, to then carry out analysis of trends or jumps. In addition, the consistency and homogeneity of data was evaluated. An exploratory data analysis was carried out taking into account the assumptions of normality, randomness and independence, where 13% of the data does not meet one or more of the three assumptions. Furthermore, parametric and non-parametric tests were conducted to detect trends and jumps in the series. The analysis revealed that 5% of the data presents a trend, of which 69% are positive and 31% negative. Regarding the jumps detected, 58% turned out to be positive.

**Keywords:** Rainfall, Data series, Trend, Jump, Data homogeneity.

---



## 1. Introducción

Ubicada sobre el Acuífero Guaraní, uno de los reservorios de agua dulce más grande del mundo, la Selva Misionera, también conocida como Selva Paranaense, Selva Atlántica, ocupa la tercera parte del territorio de la provincia de Misiones. Las precipitaciones promedio de 1800 mm anuales, conllevan un alto porcentaje de humedad y un clima subtropical sin estación seca [1] y 2]. El sistema hídrico de Misiones cuenta con tres ríos principales que son el Paraná, el Iguazú y el Uruguay, además de estos importantes cursos de agua, se hallan aproximadamente 800 arroyos dentro del territorio provincial. La mayoría de estos cauces internos nacen en el sector de las Sierras Centrales y en la altiplanicie del departamento de San Pedro, el gran centro dispersor de aguas, y desde allí bajan formando saltos y cascadas con ecosistemas de gran diversidad biológica [3].

Sin embargo, la expansión de la frontera agrícola se ha identificado como la mayor amenaza para la reducción de los bosques en la región misionera y como consecuencia una posibilidad de variabilidad climática. El incremento de los cultivos como soja, caña de azúcar, maíz, trigo, tabaco, yerba mate, té y plantaciones de pino y eucalipto, además de la cría de ganado, la caza con fines comerciales, culturales o de subsistencia, las altas tasas de crecimiento poblacional y el escaso conocimiento de los problemas ambientales de la ecorregión por parte de sus pobladores, entre otras causales, son los responsables de la degradación de la selva sumado a la explotación tradicional del monte nativo [3].

Históricamente en la región serrana de Misiones, la selva Paranaense autóctona ha contribuido a minimizar las afectaciones negativas desencadenadas por las intensas precipitaciones, reduciendo los volúmenes de escurrimiento directo y las velocidades de flujo, a la vez que el sistema radicular aporta al sustento del suelo, mitigando los procesos erosivos y optimizando por procesos de infiltración y almacenamiento de humedad en el suelo. Sin embargo, en los últimos años se acentuó el cambio de las condiciones hidroambientales de la región, presentándose mayor variabilidad en el régimen de precipitaciones, particularmente de los extremos (máximos o mínimos) [4]. Diversos autores, entre ellos Dickie y Coronel creen indispensable incorporar a la gestión de los recursos hídricos consideraciones sobre el Cambio Climático (CC). Particularmente, [4] en su informe “Cambio climático, breve historia y tendencias en la Región Húmeda” para la región comprendida por las provincias de Corrientes y Misiones, se observa un aumento paulatino de las temperaturas mínimas, medias y máximas, se registró un aumento en las precipitaciones medias anuales de 94,1 mm (representando un aumento del orden 5% en 60 años para la región). Además, los autores afirman que dicho aumento se produjo en todas las estaciones del año, excepto en el invierno en el que prácticamente hubo una disminución de la precipitación. Esta última conclusión hace presuponer que, además de un aumento de las precipitaciones existe una tendencia a la concentración de las lluvias en los meses no invernales.

En el presente artículo se estudia los supuestos de la normalidad, aleatoriedad e independencia de las precipitaciones. Asimismo, se detectaron los cambios graduales o tendencias y saltos o cambios abruptos en el régimen de precipitaciones de la provincia de Misiones mediante la aplicación de tests paramétricos y no paramétricos. Para ello se utilizaron los registros de 14 estaciones del Sistema Nacional de Información Hídrica de la Red hidrológica Nacional comprendida desde el año 1991 hasta el 2018, es decir una serie de 28 años.

## 2. Metodología

Se realizó un análisis de los datos de precipitaciones de 14 estaciones proporcionadas por el Sistema Nacional de Información Hídrica de la Red hidrológica Nacional para el periodo comprendido entre los años 1991 al 2018, se consideró este periodo por contar con la mayor cantidad de información. Los datos mensuales faltantes se completaron con el método directo, siguiendo a Orsolini et al. [5]. Se aplicó el método de dobles acumulaciones para analizar la consistencia de datos de las 14 estaciones estudiadas por comparación con los datos confiables de la estación del INTA de Cerro Azul. Las estaciones analizadas se presentan en la Tabla 1 y se visualizan geográficamente en la Fig. 1.

**Tabla 1: Estaciones analizadas.**

Estación	Nombre	Latitud Sur	Longitud Oeste
E1	Puerto Concepción	28° 07' 07,6"	55° 34' 51,6"
E2	San Javier	27° 52' 8,4"	55° 07' 48"
E3	Colonia Mártires	27° 24' 3,6"	55° 20' 06"
E4	Campo Grande	27° 13' 26,4"	54° 58' 8,4"
E5	Aristóbulo del Valle	27° 05' 38,4"	54° 52' 8,4"
E6	El Soberbio	27° 17' 56,4"	54° 11' 38,4"
E7	Pepirí Miní	27° 9' 14,4"	53° 55' 58,8"
E8	San Vicente	27°	54° 30' 25,2"
E9	El Alcázar	26° 45' 3,6"	54° 45' 21,6"
E10	San Pedro	26° 38' 6"	54° 5' 24"
E11	Pinar Ciba	26° 30' 43,2"	54° 27' 14,4"
E12	Valle Hermoso	26° 21' 18"	54° 29' 52,8"
E13	Puerto Andresito	25° 35' 27,6"	53° 59' 42"
E14	Itá Cajón	25° 36' 14,4"	54° 35' 34,8"
E15	INTA Cerro Azul	27° 39' 24,7"	55° 26' 13,4"

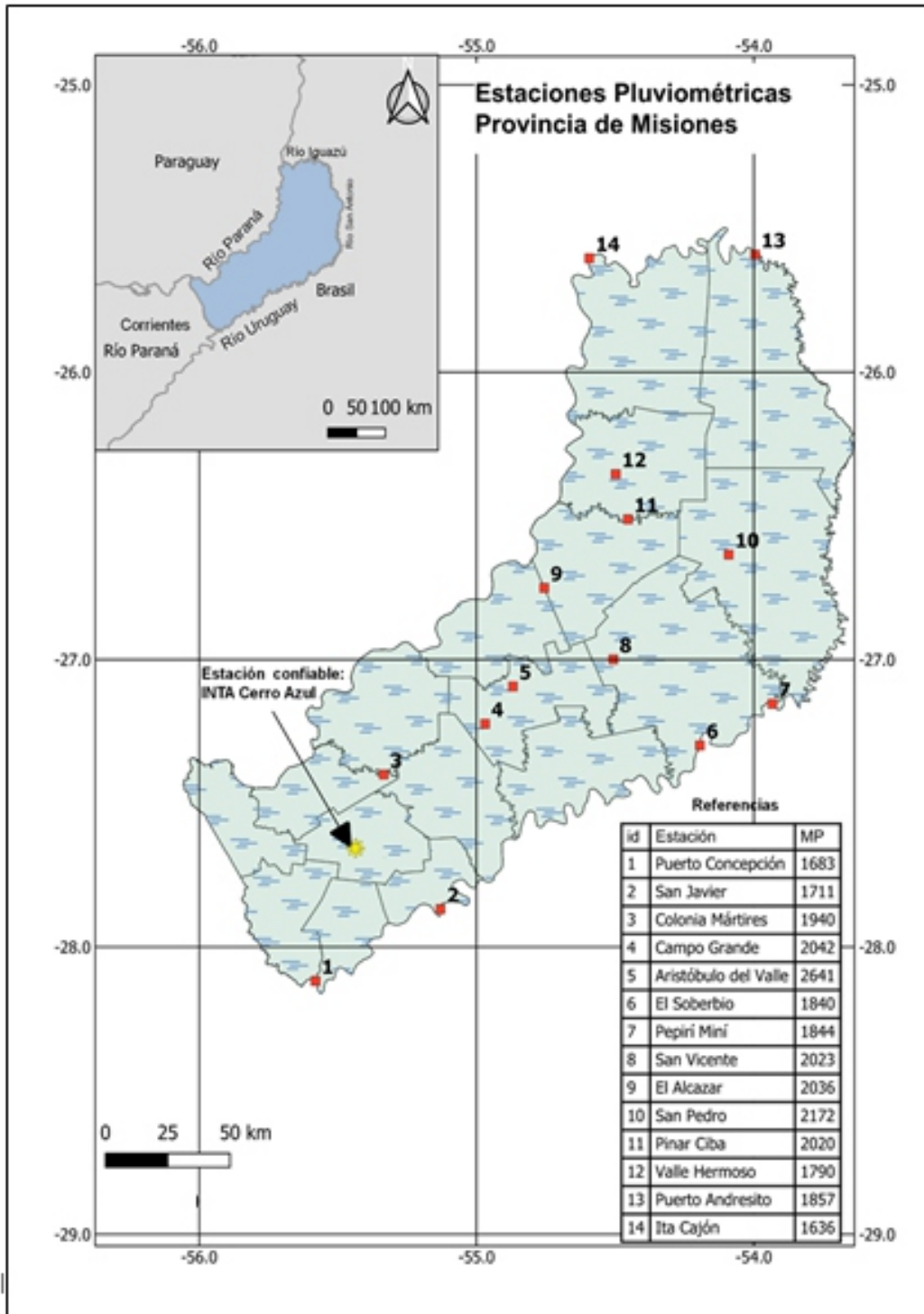


Fig. 1: Estaciones analizadas.

Si los valores acumulados de cada estación en cuestión son proporcionales a los valores acumulados de la estación de confianza, se obtiene una recta cuya pendiente representa el coeficiente de proporcionalidad. Se considera a los datos inconsistentes si, a partir de un determinado momento, se observa un cambio de pendiente formado por más de cinco puntos, en ese caso no se consideran representativos [5].

La población a estudiar es el conjunto de datos de 14 estaciones meteorológicas de la provincia de Misiones, donde la muestra representativa de esta población son los datos mensuales de precipitación de cada una de las mismas.

A partir de los módulos anuales y por medio de diferentes test estadísticos simples se detectó la existencia de aleatoriedad o una secuencia en los datos, cambios graduales o abruptos, Fig 2. Además, para aplicar los test paramétricos según Lauro et al. [6], los datos deben contar con la hipótesis de normalidad, si la misma es rechazada, el test pierde robustez, es decir es dudoso [7].

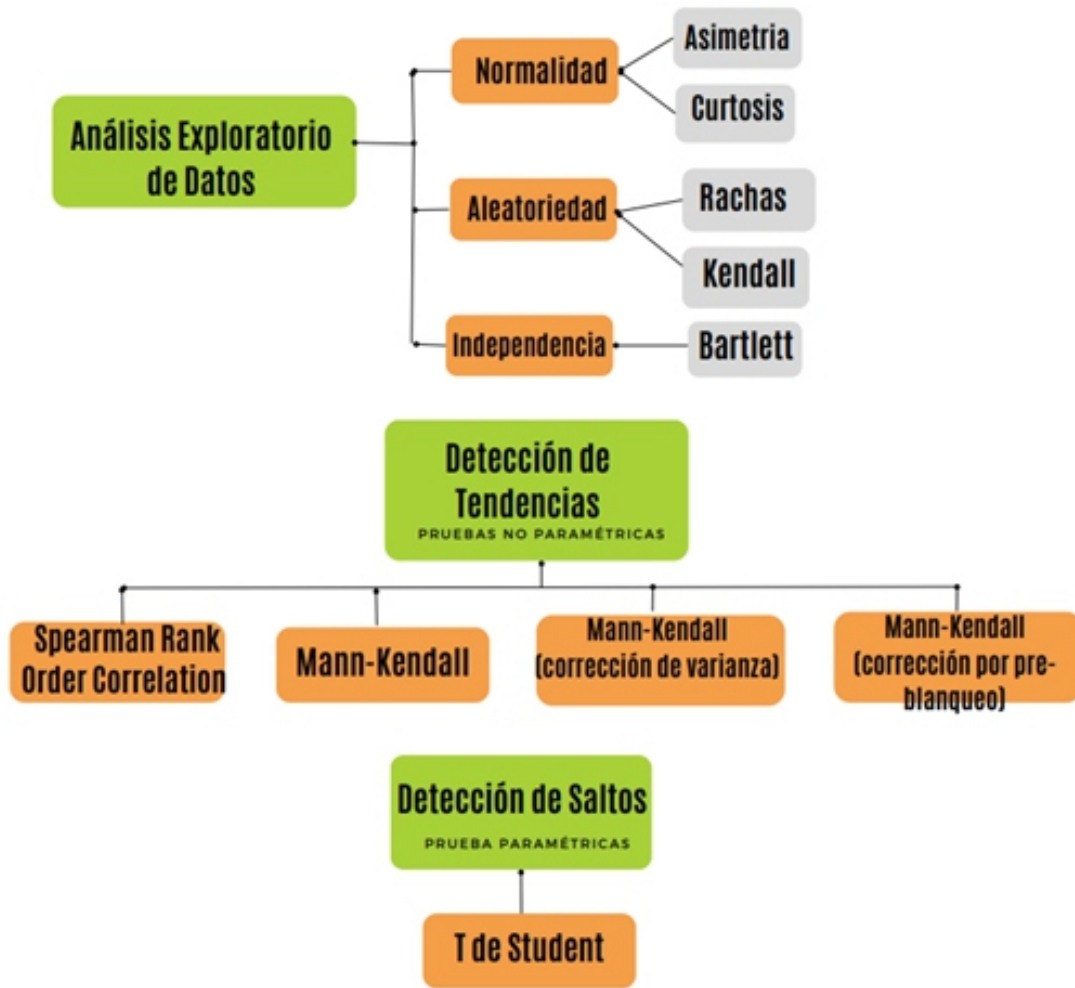


Fig. 2: Test empleados para el análisis de la serie de precipitaciones.

Para el supuesto de Normalidad se usaron los siguientes test:

2.1 Test de Asimetría:

$$Z_{asimetría} = \frac{asimetría}{\frac{6}{N}} \tag{1}$$

2.2 Test de Curtosis:

$$Z_{curtosis} = \frac{curtosis}{\frac{24}{N}} \tag{2}$$

Siendo N el tamaño de la muestra Si es cierta la hipótesis de normalidad ambos se distribuyen asintóticamente según una N(0,1) [7].

Para el supuesto de Aleatoriedad se usaron los siguientes test [6]-[8]:

### 2.3 Test de Rachas

Permite verificar la hipótesis nula de que la muestra es aleatoria, lo cual indica si las sucesivas observaciones son independientes. Este contraste se basa en el número de rachas (secuencia de valores sucesivos iguales) que presenta una muestra. Se asigna un indicador, según esté por encima o debajo de la mediana muestral, se establece el número de rachas y de datos que posee cada indicador:

$$Z_{rachas} = \frac{NR - \frac{2N_1N_2}{N_1+N_2} + 1}{\sqrt{\frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N_1 - N_2)}{(N_1+N_2)^2 + (N_1+N_2 - 1)}}} \quad (3)$$

donde NR es el número de rachas y N1 y N2 el número de datos de los indicadores.

### 2.4 Test de Kendall

Permite comprobar la presencia de aleatoriedad en una muestra de datos, teniendo en cuenta el rango de una serie de puntos de inflexión, picos y valles que deberían distribuirse al azar.

$$I_i = \begin{cases} 1 & \text{si } x_i > x_{i-1} \text{ y si } x_i > x_{i+1} \\ -1 & \text{si } x_i < x_{i-1} \text{ y } x_i < x_{i+1} \\ 0 & \text{Para todo } i = 2 \dots N - 1 \end{cases} \quad (4)$$

Se define una nueva serie (la antes mencionada) y se calcula el número de puntos de inflexión Q:

$$Q = \sum_{i=2}^{N-2} I_i \quad (5)$$

El estadístico de contraste C, tiene distribución aproximadamente normal N (0,1). Donde Q número de puntos de inflexión:

$$C = \frac{Q - \frac{2N-4}{3}}{\sqrt{\frac{(16N-29)}{90}}} \quad (6)$$

### 2.5 Test de Bartlett:

Para el supuesto de independencia, se asume en este test, que las observaciones de la muestra siguen una distribución normal. La independencia de las observaciones en la serie se comprueba mediante el coeficiente de autocorrelación. La hipótesis nula es que la autocorrelación sea cero, lo que significa que los datos posteriores en la muestra son independientes. El coeficiente se calcula con la ecuación 7:

$$r_i = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (x_i - MEDIA)(x_{i+1} - MEDIA)}{\sum_{i=1}^N (x_i - MEDIA)^2} \quad (7)$$

donde  $\frac{r_1 \sqrt{df}}{\sqrt{(1-r_1^2)}}$  es el estadístico de contraste y los grados de libertad  $= (N - 3) \frac{1-r_1^2}{1+r_1^2}$

Se entiende como tendencia al cambio gradual a largo plazo en la media de una variable. La presencia de tendencia equivale a decir que la serie es no estacionaria. Para detectar tendencias o



cambios graduales se usaron test no paramétricos de Spearman Rank Order Correlation Test (SROC), Mann-Kendall, y sus correcciones por varianza y pre-blanqueo.

### 2.6 Spearman Rank Order Correlation Test (SROC)

Es un test basado en un orden de rango s para medir la relación monótona entre dos variables que suelen censurarse y no se distribuyen normalmente. La correlación de orden de rango de Spearman se encuentra entre -1 y 1. La detección de la potencia de la prueba de correlación de rango de Spearman es importante en el análisis de los datos de serie temporal hidrológica [7].

### 2.7 Test de Mann-Kendall

Es ampliamente aplicado en estudio de identificación de tendencias en series hidrometeorológicas y otras series ambientales. El test de Mann-Kendall es un test no paramétrico que permite identificar si existe una tendencia en la serie temporal que se desea estudiar, determina la tendencia (positiva, negativa o cero) de una muestra de N datos donde se conserva el orden cronológico en el que fueron tomados. La hipótesis nula establece que no hay una tendencia en el conjunto de datos [6], [8].

### 2.8 Test de Mann y Kendall con corrección de la varianza

Está basada en la corrección de la varianza en función del número efectivo de observaciones. Su importancia radica en que detecta tendencias que no existen realmente, lo que significaría rechazar la hipótesis nula cuando esta es cierta [6][8].

### 2.9 Test de Mann y Kendall con corrección por pre-blanqueo

Este procedimiento de pre-blanqueo es para eliminar el efecto de la correlación serial. Se basa en determinar una nueva serie de datos donde cada valor, es dividido por el promedio; luego, la tendencia y autocorrelación de primer orden es removida. Se recarga la tendencia y se aplica el test de Mann y Kendall original, donde se determina si la tendencia no paramétrica es estadísticamente distinta de cero. [6][8]

### 2.10 Test t de Student

Para detectar cambios abruptos en la serie de precipitaciones se recurrió al Test t de Student.

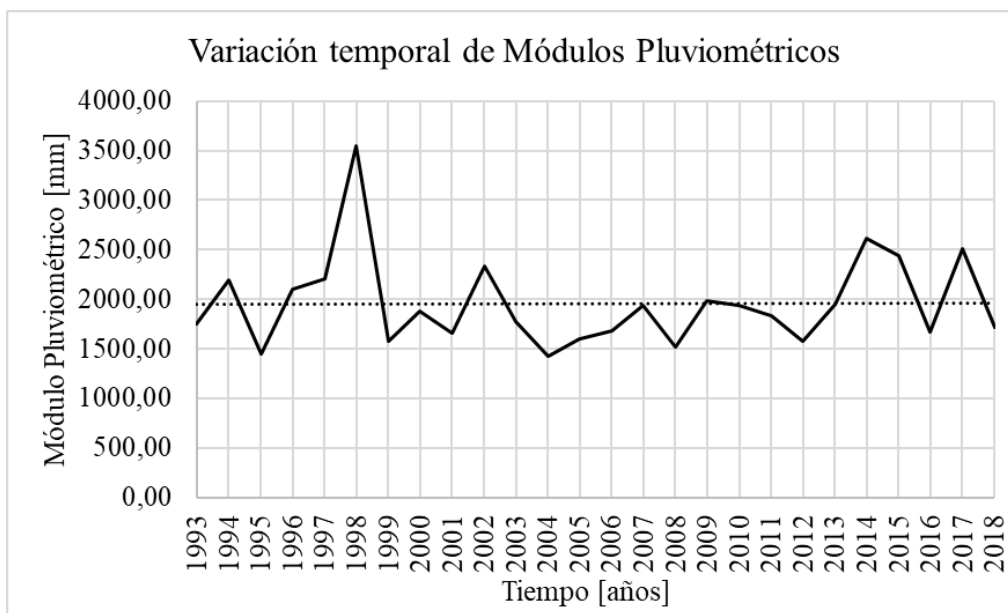
Este test detecta puntos de quiebre estadísticamente significativos de manera más frecuente que los otros test, para ello, debe eliminarse previamente la tendencia y la serie debe tener una distribución normal. Se basa en la verificación de la igualdad estadística de dos medias muestrales, lo que significa que ambas muestras pertenecen a la misma población y, por lo tanto, no ha habido cambios abruptos en el régimen de precipitaciones [6], [8]-[10].

## 3. Resultados

Se obtienen los módulos anuales de las precipitaciones para cada estación analizada, donde el menor valor de precipitación anual se produjo en el año 2004, coincidiendo con un período de escasas lluvias [1]. La media anual de precipitaciones (1955 mm) que se muestra en la Tabla 2, puede ser considerada como un valor climático para la zona analizada ya que es superior a los citados en las descripciones climáticas para esta región. La variación temporal de módulos pluviométricos anuales se muestra en la Fig. 3.

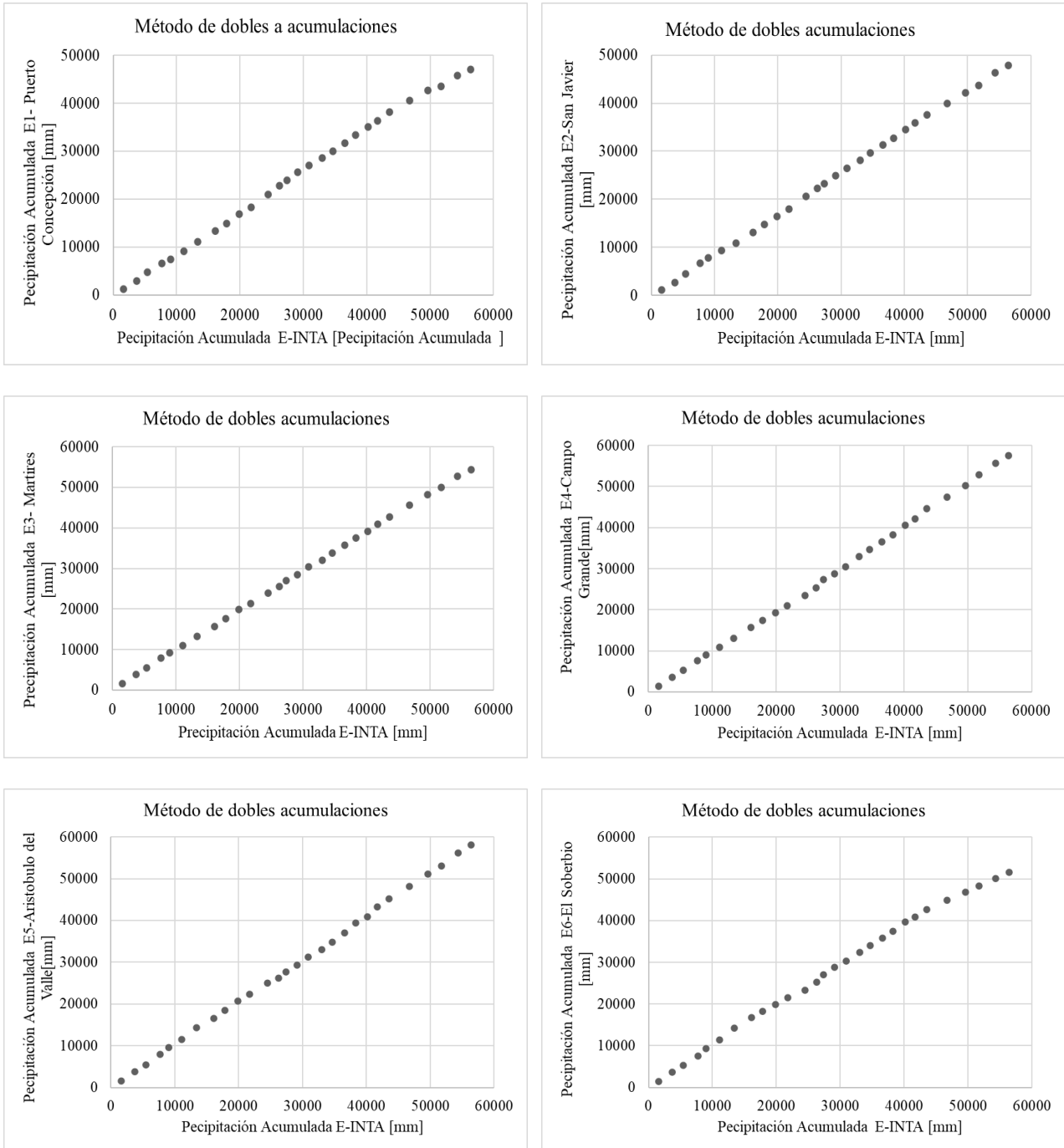
**Tabla 2: Módulos pluviométricos anuales.**

Año	Módulos Pluviométricos anuales para cada estación [mm]														MP Anual [mm]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	
1993	1891	1887	1715	1645	1594	1716	1621	1587	1928	2223	1615	1552	1974,5	1575	1751,68
1994	1800	2133	2386	2397,5	2444	2195	2296,5	2579	2207,7	2262	2325,6	1968,6	1889	1799,2	2191,65
1995	895	1107	1322,5	1251	1474	1774	1494	1828	1758,1	1872,7	1730,5	1466,9	1493,5	799,5	1447,62
1996	1659	1560	1957	1929	2333,5	2229	2104	2440	2457,6	2477	2289,1	1562	2228,5	2130	2096,84
1997	2051	1505	2162,5	2355	2404	2877	2283	2155	2403,4	2469	2611,9	1520	2186,5	1956	2209,95
1998	2251	2267	2416	2568	17835,5	2329	2441	2460	2577,6	3031,3	2544,5	2329	2531	2053	3545,28
1999	1577	1707	1919	1755	2445	1545,4	1527,6	1397	1181,1	1838,1	1392,3	1105,3	1395	1266,3	1575,08
2000	1890	1678	1839,72	1737	1969,5	1613	1822,5	1672,3	1940,6	2436,1	2412,01	1889,9	1679,5	1731	1879,37
2001	1453	1537	1727	1705	2024	1492	1544	1798,6	1694,5	2086,5	1731,6	1452,6	1588,5	1446,5	1662,91
2002	2584	2649	2542	2666	2541	2199	2392	2194	2112,5	2560	2489,9	1997	1865,5	1937,5	2337,81
2003	1839	1661	1806,7	1973	1677,5	1858	1859	1843,7	1715	1985,5	1835,3	1559	1742	1477	1773,69
2004	1239	984	1386,5	1661	1411,5	1553,5	1366,5	1391,2	1329,7	1930,7	1599	1346	1543,5	1186	1423,44
2005	1708	1642	1488	1436	1364,9	1698,5	1412,9	1785	1641,5	1965,3	1594,3	1330	1989,3	1390,5	1603,30
2006	1359	1429	1672,5	1967	1906,8	1754,3	1449,1	1933,8	1757,2	1909	2011,3	1789	1294,5	1262	1678,18
2007	1566	1772	1867,5	2328,5	2073,3	1915,9	1905	2120,3	2190	2190,1	2314,1	1978,6	1802	1154	1941,24
2008	1324	1484	1720,9	1655,2	1572,5	1555,3	1696,2	1651,2	1319,5	1854,3	1649,6	1376	1234	1211,5	1521,73
2009	1755	1670	1873	1861,6	2161,5	1872,72	2001,2	1788,3	2039,1	2301,75	2133,65	2181	2405	1672	1979,70
2010	1753,5	1372	1845,5	2015,55	2099	1853,6	1922,3	1869,7	2325	1998,3	2270,4	1973,65	1835,5	1954,5	1934,89
2011	1606	1780	1652,5	2110,6	1953	1966,2	1870,5	1935,3	1729,8	1900,5	2219,7	1903,5	1686	1299,5	1829,51
2012	1345	1453	1735	1975	1761,4	1522,2	1457	1776	1639,5	1330,4	1563	1464	1521,5	1452,7	1571,12
2013	1729	1727	1777,5	2032,6	2087,7	1580,2	1813,4	1958	1796,5	2458,3	2208,8	2084	2172	1832,92	1946,99
2014	2515	2272	2805,5	3050,2	2956,5	2106,8	2080,53	3014	3053,8	3096,5	2865,5	2320	2280,5	2107,29	2608,87
2015	2033	2289	2528,8	3040	3069,5	2170,4	2139,98	2635,7	2760	2790,5	1997,9	2645,6	2029	1991	2437,17
2016	825	1549	1860,5	2132	1810,5	1242,2	1629,7	1753,1	2156	1607	1664	1575,5	1774	1852,5	1673,64
2017	2246	2572	2780,5	2678	3179	1862,3	2126	3113,2	3242	2375	2491	2405	2093	1983	2510,43
2018	1383,61	1578,3	1685,5	1655,2	1986,5	1346,02	1723	2005,5	1990,3	1681,5	1511	1785	1945	1707	1713,10
Prom Est	1702,97	1740,93	1941,27	2060,77	2697,52	1839,52	1845,30	2026,34	2036,38	2178,09	2041,19	1790,74	1853,01	1624,13	1955,58



**Fig. 3: Variación temporal de módulos pluviométricos anuales.**

En las gráficas de la Fig. 4 se aplica el método de dobles acumulaciones, las precipitaciones acumuladas de cada una de las 14 estaciones proporcionadas por el Sistema Nacional de Información Hídrica de la Red hidrológica Nacional (eje vertical) son comparadas con los datos de precipitación acumulada de la estación confiable (eje horizontal) se considera que no hay inconsistencias representativas o errores sistemáticos.



**Fig. 4: Método de dobles acumulaciones.**

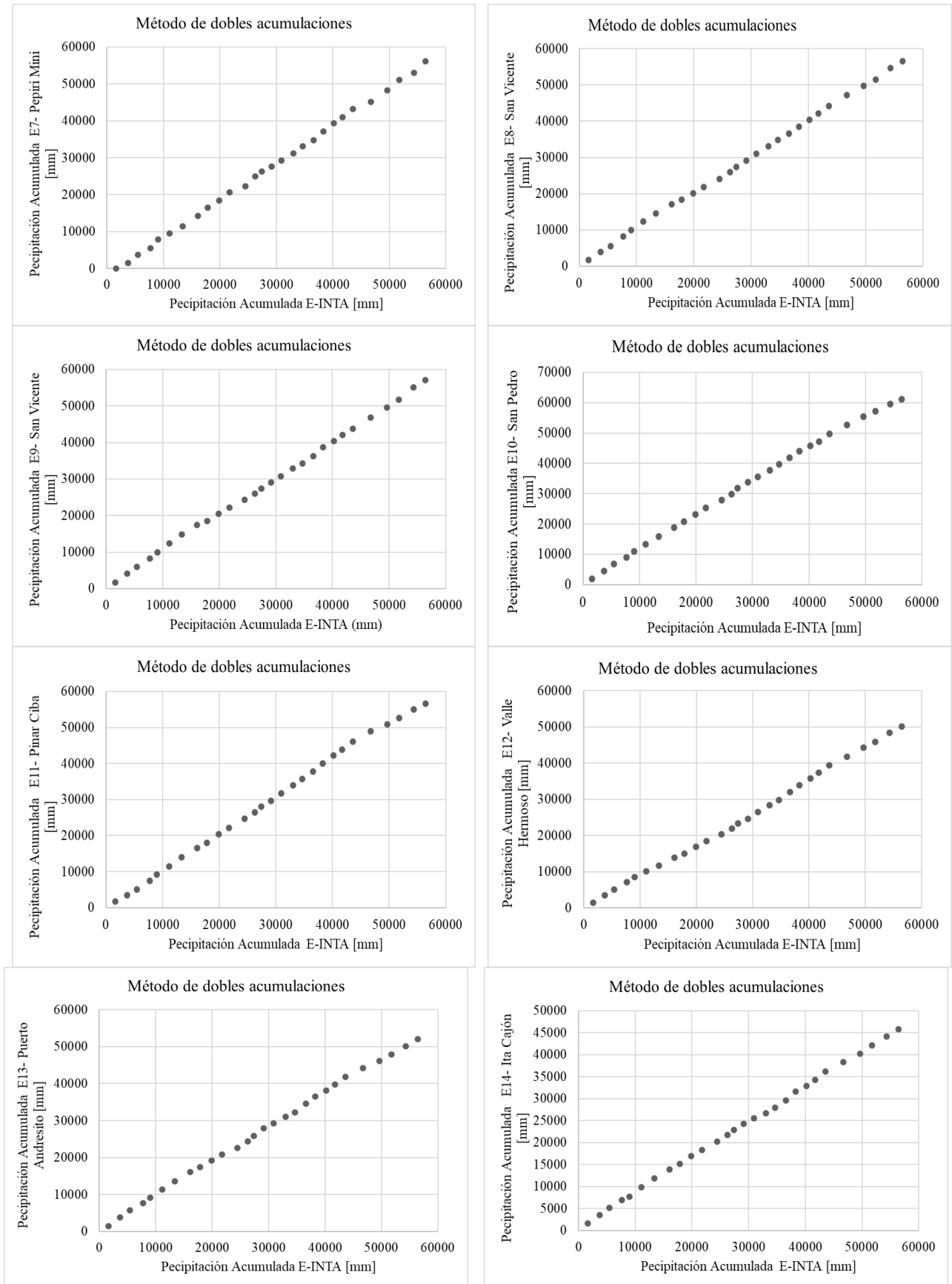


Fig. 4: Método de dobles acumulaciones (Continuación).

A continuación, se detallan los resultados del análisis estadístico realizados, en la Tabla 3, siguiendo la metodología descrita precedentemente, mediante un código en Fortran para los datos mensual, anual y estacional. En el cual, de enero a marzo, es verano; desde abril a junio, otoño; desde julio a septiembre, invierno; desde octubre a diciembre, primavera. Donde A=acepta, R=Rechaza (para los supuestos de Normalidad, Aleatoriedad e Independencia, en ese orden) y NS= No Significativo, el signo (-) y (+) indica si el salto es negativo o positivo.

**Tabla 3: Resumen del análisis estadístico.**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
<b>ESTACIÓN 1 (Puerto Concepción-Uruguay)</b>																	
Análisis exploratorio de datos	R	A	R	R	R	R	A	R	R	R	R	A	A	A	A	R	A
	A	A	A	A	A	A	R	R	A	A	A	A	A	A	A	R	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-2,04	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	2,33	-2,68	NS	NS	NS	NS	-1,8	1,88	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Salto	2008 (+) 2000 (-)						2002 (-) 2000 (+)										
<b>ESTACIÓN 2 (San Javier-Uruguay)</b>																	
Análisis exploratorio de datos	A	A	A	R	R	R	A	R	R	A	A	R	A	A	R	R	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Salto																	
<b>ESTACIÓN 3 (Colonia Mártires-Yabebiry)</b>																	
Análisis exploratorio de datos	A	R	R	R	A	A	A	A	A	A	A	A	A	R	A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-3,98	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	3,99	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-4,25	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Salto										2000(-)							
<b>ESTACIÓN 4 (Campo Grande-Acaraguá)</b>																	
Análisis exploratorio de datos	R	A	A	R	A	R	A	R	R	R	A	A	A	A	R	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	R	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	21,05	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	21,05	NS	11,05	NS	NS
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	21,05	NS	11,05	NS	NS
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	3,99	NS	NS	21,05	NS	11,05	NS	NS
TEST T STUDENT	7,63	-3,87	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	22,91	5,46	NS	11,59	NS	NS
Salto	2006(+)		2003(-)									2001(+)		2008(+)		2006(+)	
<b>ESTACIÓN 5 (Aristobulo del Valle-Torto)</b>																	
Análisis exploratorio de datos	R	R	R	R	A	R	A	A	R	A	A	A	A	R	A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	R	A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	8,91	NS	NS	NS	NS	-4,88	NS	NS	NS	NS	NS	3,75	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	8,91	NS	NS	NS	NS	-4,88	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	8,91	NS	NS	NS	NS	-4,88	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	8,91	NS	NS	NS	NS	-4,88	NS	NS	NS	3,99	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	9,4	NS	NS	NS	NS	-3,98	-2,68	NS	NS	NS	-0,98	4,23	16,8	11,9	-6,28	NS	7,03
Salto	2007(+)					2002(-)		2002(-)				2000(-)		2008(+)		2008(+)	



**Tabla 3: Resumen del análisis estadístico (Continuación).**

ESTACIÓN 6 (El Soberbio-Uruguay)																	
Análisis exploratorio de datos	A	A	R	R	A	A	R	A	R	A	R	A	A	A	R	R	
	A	R	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
SPEARMAN RANK	NS	NS	4,53	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
TEST T STUDENT	NS	NS	-5,7	3,21	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Salto			2001(+)		2003(-)												
ESTACIÓN 7 (Pepirí Mini-Uruguay)																	
Análisis exploratorio de datos	R	R	A	A	A	A	A	R	A	R	A	A	A	A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	R	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
SPEARMAN RANK	NS	NS	-5,4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	1,81	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
TEST T STUDENT	NS	NS	-6,69	NS	NS	NS	NS	-2,78	NS	NS	-3,76	NS	NS	NS	NS	NS	
Salto			2001(-)				2002(-)				2004(-)						
ESTACIÓN 8 (San Vicente-Soberbio)																	
Análisis exploratorio de datos	A	A	A	A	R	R	R	A	A	R	R	R	A	A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	R	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	11,07	
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	11,07	
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	11,07	
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	11,07	
TEST T STUDENT	-2,75	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	4,44	NS	NS	NS	NS	NS	12,35	
Salto	2001(-)								2001(+)						2008(+)		
ESTACIÓN 9 (El Alcazar-Paranay)																	
Análisis exploratorio de datos	A	R	A	A	R	A	A	A	R	R	A	A	A	A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
SPEARMAN RANK	NS	3,5	NS	NS	5,23	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL	NS	3,5	NS	NS	5,23	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	3,5	NS	NS	5,23	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	3,5	NS	NS	5,23	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
TEST T STUDENT	NS	NS	-2,73	NS	5,66	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	13,69	NS	7,17	NS	
Salto			2001(-)		2003(+)						2008(+)		2008(+)				
ESTACIÓN 10 (San Pedro-Yabotí)																	
Análisis exploratorio de datos	R	A	R	R	R	A	A	A	A	A	R	A	A	A	A	A	
	A	R	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-7,36	NS	NS	NS	NS	-6,78	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-7,36	NS	NS	NS	NS	-6,78	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-7,36	NS	NS	NS	NS	-6,78	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-7,36	NS	NS	NS	NS	-6,78	NS	NS	NS	NS	
TEST T STUDENT	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-5,18	NS	NS	NS	NS	-7,17	NS	NS	NS	-6,06	
Salto					2000(-)						2000(-)				2003(-)		
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual	Verano	Otoño	Invierno	Primavera

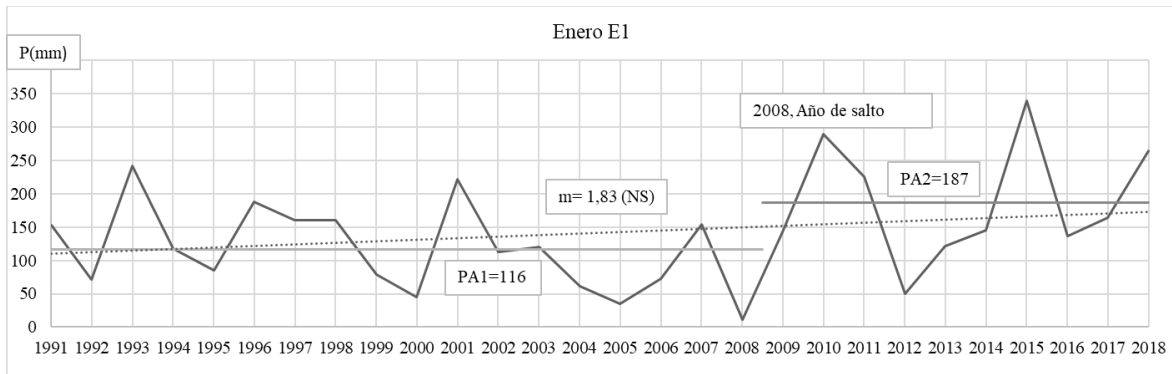
**Tabla 3: Resumen del análisis estadístico (Continuación).**

ESTACIÓN 11 (Pinar Ciba-Piray Guazú)																				
Análisis exploratorio de datos	A	A	A	A	R	R	R	R	A	A	R	A	A	R	A	A	A			
	A	A	R	A	A	A	R	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A			
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A			
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
TEST T STUDENT	NS	3,79	NS	NS	NS	-3,45	NS	NS	-3,82	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
Salto	2003(+)			2000(-)			2007(-)													
ESTACIÓN 12 (Valle Hermoso-Piray Mini)																				
Análisis exploratorio de datos	R	R	A	A	A	A	R	R	A	A	A			R	A	A	A	R	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A	
SPEARMAN RANK	4,12	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL	4,12	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	4,12	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	4,12	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
TEST T STUDENT	4,83	NS	NS	2,47	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,86	NS	NS	17,09	NS	NS	NS	NS	6,95	
Salto	2008(+)		2006(+)						2005(+)			2008(+)			2001(+)					
ESTACIÓN 13 (Puerto Andresito-Iguazú)																				
Análisis exploratorio de datos	A	A	A	A		R	A	A	R	R	A	A	A	A	A		A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A			A	A	A	A	A	A		A	A	A
	A	A	A	A	A	A	A	A	A			A	A	A	A	A		A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
TEST T STUDENT	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Salto																				
ESTACIÓN 14 (Itá Cajón-Paraná)																				
Análisis exploratorio de datos	A	A	A	A	R	R	R	R	R	R	R	A	A	A	A	A	A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
SPEARMAN RANK	NS	4,84	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL	NS	4,84	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Corrección de Varianza)	NS	4,84	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MANN - KENDALL (Preblanqueo)	NS	4,84	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
TEST T STUDENT	2,26	NS	-0,73	NS	NS	NS	NS	NS	2,01	3,17	4,6	NS	NS	NS	NS	NS	NS	4,21	NS	
Salto	2008(+)		2002(-)				2007(+)		2008(+)		2008(+)						2008(+)			

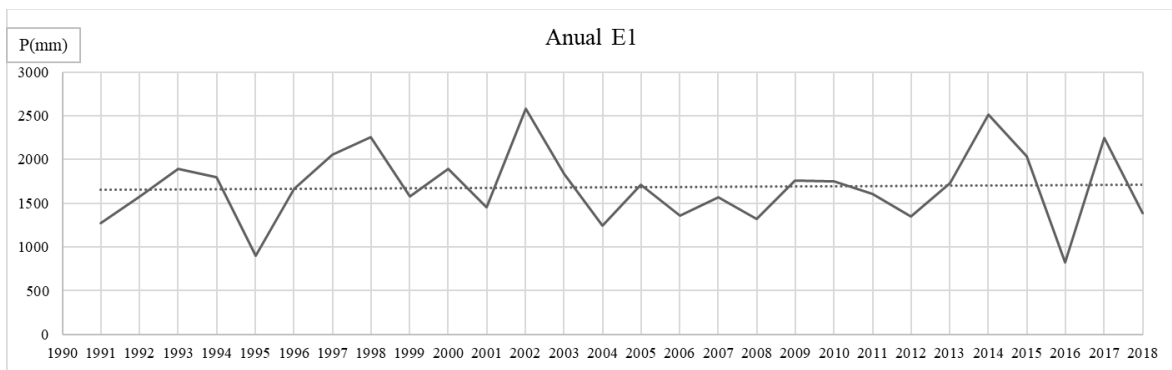
Los resultados del test de asimetría nos dan el criterio para rechazar o no la hipótesis nula de los datos provienen de una población distribuida normalmente. La hipótesis nula es que “No hay tendencia”. Por ende, cuando se acepta la hipótesis nula significa que la pendiente o tendencia es

estadísticamente igual a cero, es decir que no hay tendencias significativas. Para determinar si los datos no siguen una distribución normal se toma  $\alpha = 0.05$ , lo cual indica un riesgo de 5% de concluir que los datos no siguen una distribución normal.

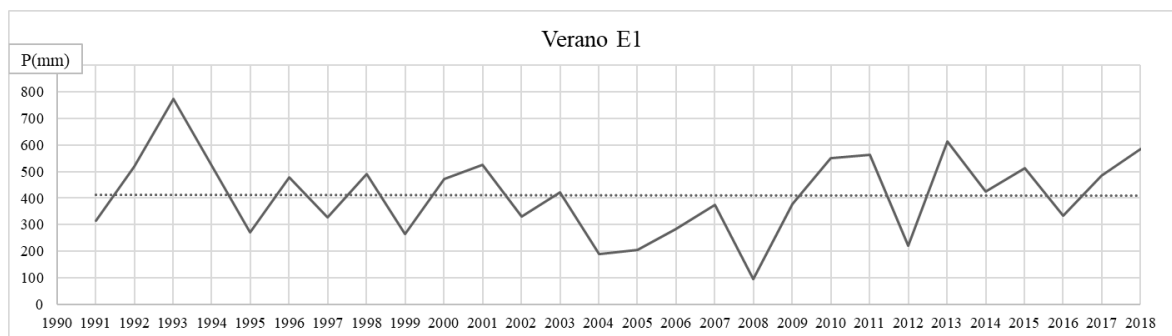
Los resultados obtenidos de los datos se interpretan mejor con ayuda de una representación gráfica. Por ello, a continuación, se detalla el análisis exploratorio de datos para la Estación 1: Puerto Concepción, donde para enero se rechaza (R) la prueba de normalidad, pero se Acepta (A) las de aleatoriedad e independencia.



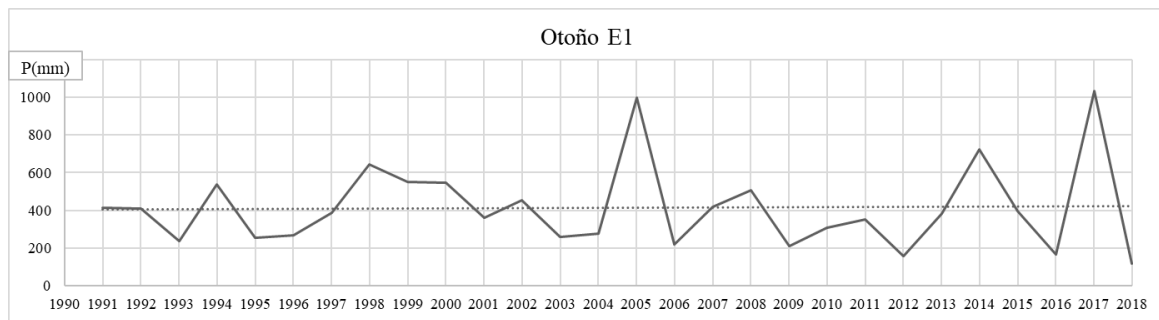
**Fig. 5: Salto E1.**



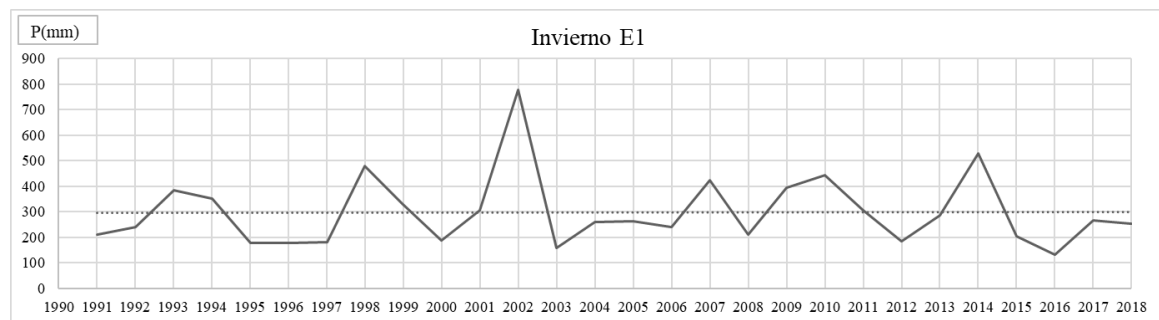
**Fig. 6: Precipitaciones anuales E1.**



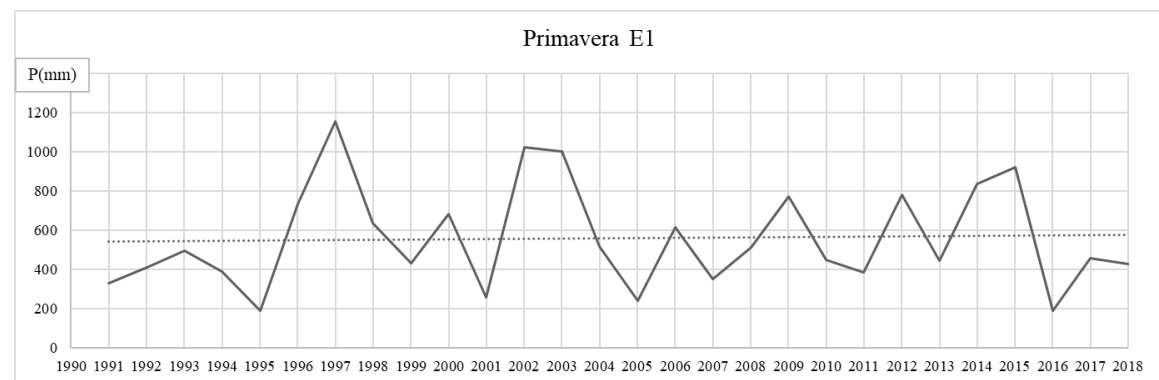
**Fig. 7: Precipitaciones de Verano E1.**



**Fig. 8: Precipitaciones de Otoño E1.**



**Fig. 9: Precipitaciones de Invierno E1.**



**Fig. 10: Precipitaciones de Primavera E1.**

Se observa con detalle para la E1: Puerto Concepción, en enero, febrero, julio y agosto hay cambios graduales. En julio y agosto no se cumple con el supuesto de aleatoriedad y en agosto además con el de normalidad, entonces hay una duda razonable y los datos son sospechosos, ya que el test de T de Student requiere de datos con distribución normal. En enero se observa una tendencia positiva, si bien es no significativa y presenta un salto positivo en el año 2008, donde la media mensual de precipitaciones pasa de 116 mm a 187 mm. Para los demás meses no se observan cambios graduales y/o abruptos, ni en el análisis estacional como tampoco en el anual. En las gráficas para las precipitaciones de verano, otoño, invierno, primavera y la de precipitaciones anual se puede observar que no hay tendencia significativa.

#### 4. Conclusiones

Al observar los módulos anuales de la serie analizada, se detecta un leve cambio gradual. Al someterla a diferentes test estadísticos, se concluye que el cambio no es significativo.

El 87% de los datos cumple con los supuestos de Normalidad, Aleatoriedad e Independencia. El supuesto de Normalidad cumple el 65%, Aleatoriedad el 95% e Independencia el 100% de los datos.

El 95 % de los datos no presentó tendencias significativas, el 3,4% presenta tendencias positivas y el 1,5% de los datos presenta tendencias negativas.

Con respecto a los saltos detectados en el análisis, el 58% son positivos, siendo el 42% de los saltos negativos. Se puede ver que, coincidiendo con un período de escasas lluvias que abarcó los meses de noviembre de 2004 hasta marzo de 2005, se detecta un salto negativo en el 2004 y uno positivo en el 2005 que corresponde al término de los escasos de lluvias.

Debido a que la mayoría de los datos cumplen con los supuestos de Normalidad, Aleatoriedad e Independencia, se puede aceptar, desde el punto de vista estadístico, que los cambios graduales presentados no son significativos.




La detección de puntos de cambio está asociada a la variabilidad climática natural. Se ha utilizado una prueba estadística que detecta un único punto de cambio. Se considera a futuro la utilización de alguna prueba de detección de múltiples puntos, para un análisis de mayor confiabilidad.

## Referencias

- [1] F. Silva, B. Eibl, E. Bobdilla, “Características de la Precipitación Durante 1981-2012 en Eldorado Misiones”, Revista Forestal Yvyrareta, vol 21, pp 36-42. 2014.
- [2] G. Prytz Nilson, A. G. Seufert, S. Ulrich, F. Schoninger, “Gestión de cuencas hidrográficas: Aplicaciones de SIG para mediciones pluviométricas”, en 9° Jornadas de Investigación, Desarrollo Tecnológico, Extensión, Vinculación y Muestra 2019. Facultad de ingeniería-UNaM, Oberá, Misiones.
- [3] Instituto Provincial de Estadística y Censos- Gobierno de la Provincia de Misiones, “Gran Atlas de Misiones”. 2015.
- [4] M. Dickie, A. Coronel, “Cambio climático, breve historia y tendencias en la Región Húmeda”, INTA EEA Oliveros, 2016.
- [5] H. Orsolini, E. Zimmermann, P. Basile, Hidrología, Procesos y Métodos. Editorial UNR. 2017.
- [6] C. Lauro, A. I. J. Vich, S. Moreiras, “Variabilidad del Régimen Fluvial en Cuencas de la Región de Cuyo”, GEOACTA, vol. 40, no. 2, pp. 28-51. 2016.
- [7] S. Figueras, P. Gargallo (2023, 05, 12). Análisis Exploratorio de Datos. [Online]. Available: <http://www.5campus.com/leccion/aed>
- [8] A. I. J. Vich, F. Bizzotto, E. Vaccarino, M. Correas, F. Manduca, “Tendencias y cambios abruptos en el escurrimiento de algunos ríos con nacientes en la cordillera y serranías del oeste argentino”, en Criterios para la determinación de crecidas de diseño en sistemas climáticos cambiantes, Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral, 2010, pp- 149-166.
- [9] A. Pardo, R. San Martín, Análisis de datos en ciencias sociales y de la salud. Universidad Autónoma de Madrid. 2010.
- [10] A. Poblete, J. Minetti, S. Escudero, “Cambios abruptos en los derrames anuales del río San Juan – Argentina asociados a fenómenos climáticos de la macroescala”, en XXIV Congreso Nacional del Agua 2013. San Juan, Argentina.



## Los Métodos Matemáticos en las Tesis de Formación Doctoral Conducidas por la Universidad en la Industria Química

Erenio González Suárez<sup>a</sup> , Diana N. Concepción Toledo<sup>a</sup> , Juan Esteban Miño Valdés<sup>b,\*</sup> 

<sup>a</sup> Dpto. de Ing. Química, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba.

<sup>b</sup> Dpto. de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Argentina.

e-mails: [erenio@uclv.edu.cu](mailto:erenio@uclv.edu.cu), [dianac@uclv.edu.cu](mailto:dianac@uclv.edu.cu), [jemino53@gmail.com](mailto:jemino53@gmail.com)

---

### Resumen

La génesis de muchas investigaciones científicas son las demandas de la práctica productiva en las empresas y su propio desarrollo prospectivo, lo que justifica la necesidad y posibilidad de realizar investigaciones dentro de la industria para su propio beneficio. La metodología de trabajo incluye el control de las operaciones unitarias del proceso para obtener datos experimentales y usarlos en los métodos matemáticos de las tesis doctorales, conducidas por la Universidad. El personal empresarial con funciones de dirección técnica de importancia son los aspirantes a cursar estos doctorados. El desafío es llevar a cabo un trabajo de investigación con los conocimientos adquiridos durante su formación, resolviendo problemas reales de la industria química. En adición, se hace referencia a los trabajos y experiencias actuales en la intensificación de los procesos de producción de refinerías de petróleo y elaboración de ron.

**Palabras clave:** Formación doctoral, Industria química, Métodos matemáticos, Universidad-empresa.

---

### Abstract

The genesis of many scientific investigations are the demands of productive practice in companies and their own prospective development, which justifies the need and possibility of conducting research within the industry for its own benefit. The work methodology includes the control of the unitary operations of the process to obtain experimental data and use them in the mathematical methods of the doctoral theses, conducted by the University. Professional business personnel with important technical management functions are the applicants for these doctorates. The challenge is to carry out research work with the knowledge acquired during their training, solving real problems in the chemical industry. In addition, reference is made to the current work and experiences in the intensification of the production processes of oil refineries and rum production.

**Keywords:** Doctoral training, Chemical industry, Mathematical methods, University-company.

---

## 1. Introducción

En las condiciones actuales de la industria es importante la búsqueda de soluciones a sus problemas tecnológicos a través de la asimilación de tecnologías del exterior o mediante la generación de soluciones propias atendiendo a las condiciones locales. Para ello, se requieren nuevas alianzas institucionales variando las estrategias y tácticas del desarrollo y la diversificación. Nuevas relaciones entre el sector público, privado y la academia están teniendo importantes consecuencias en la manera en que pensamos y actuamos respecto al desarrollo al desarrollo económico.

El fenómeno que gira alrededor de la importancia del vínculo entre la universidad y la empresa es relativamente nuevo si se tiene en cuenta que es a partir de la década del 80 en que se presta una mayor atención en este sentido. No obstante, es un hecho que evoluciona de forma rápida y creciente y toca fondo al punto de que si existe interés por cosechar éxitos en la actividad investigativa y productiva pues resulta incuestionable la necesidad de lograr un vínculo estrecho entre ambos sectores [1].

Sin embargo, persisten aun varias limitaciones y barreras para la colaboración efectiva entre ambos sectores, por lo que se demandan acciones para reforzar la efectividad y dinámica de este vínculo.

Este reforzamiento se debe en gran medida a que en la actualidad confluyen y se interrelacionan, además, dos cambios mundiales de carácter estructural:

- Una revolución productiva basada en la ciencia, donde los productos alcanzan un valor agregado dado por los conocimientos incorporados a ellos, que supera el valor de la materia prima, energía o mano de obra.
- Una revolución en la estructura económica internacional, que se orienta hacia un ambiente de competitividad cada vez mayor, la disminución de la barrera al comercio exterior y una carrera febril en torno a la diferenciación de productos como base de las estrategias competitivas por lo que debemos hacer todos los esfuerzos para incrementar el uso de la Ciencia y la Técnica en el desarrollo.

Estos fenómenos hacen que el sector empresarial tenga la necesidad de poseer vías para el acceso a los conocimientos novedosos que se generan en los centros de generación de conocimientos, especialmente en la universidad y por otra parte, estos últimos se motivan retroalimentarse de la industria [2].

Entre estos conocimientos, sin dudas en el campo de la industria de procesos químicos está el apropiamiento de los métodos científicos de trabajo, en los cuales las herramientas matemáticas son sin duda algunos instrumentos especialmente poderosos.

Como todo fenómeno relativamente joven y además complejo, se enfrenta a un grupo de limitantes, barreras u obstáculos que en la medida que indagamos en las particularidades de cada uno de los sectores, estos pueden ser corroborados.

Un aspecto que consideramos clave para la introducción de las ciencias en las industrias de procesos químicos y fermentativos en la presencia de científicos en el sector empresarial y que no solo estén presentes después de su formación; sino también desde su formación por lo que este trabajo tiene el objetivo de presentar la experiencia adquirida en la formación desde la industria de científicos mediante sus tesis doctorales en el concepto de que en la industria hay necesidad y posibilidad de formar doctores cuya génesis de sus temas de investigaciones sean la solución de problemas directos del desarrollo de su empresa.

## **2. Desarrollo**

El material que se gestiona en la comunidad científica, es el conocimiento y el método que se utiliza con mayor frecuencia para generar nuevos conocimientos, es: la investigación que lleva incorporada la tesis de doctorado.

La metodología de trabajo incluye el control de las operaciones unitarias del proceso industrial, para obtener datos experimentales y usarlos en los métodos matemáticos de las tesis doctorales, conducidas por doctores de la Universidad.

El Programa de Doctorado de Ingeniería Química de la Universidad Central de las Villas (UCLV) ha respaldado los procesos doctorales esencialmente con los métodos de investigación con énfasis en los métodos heurísticos y las herramientas matemáticas, así como la exigencia en el cumplimiento de los plazos y la calidad de la investigación.

Una impronta de la época es que la tecnología incide cada vez más en las posibilidades empresariales, por lo que se requiere pasar de la perspectiva tecnológica tradicional, que no permitió el desarrollo, a una prospectiva tecnológica que puede interpretarse en:

- Búsqueda de posibilidades
- Exploración de nuevos campos

- Localización de recursos

Tendrá que descansar necesariamente en un análisis multilateral y pormenorizado de los factores y cambios tecnológicos de la empresa, para lo cual debería cumplirse una previsión global, cualitativa y múltiple que cumpla el requisito de ser instrumento para la acción.

Según afirma [3] el conocimiento se está consolidando cada vez más como un elemento de importancia estratégica para las organizaciones, al entrar en una economía basada en recursos intangibles como la tecnología, la información y el aprendizaje.

En este sentido, la gestión del conocimiento es una de las responsabilidades organizacionales de mayor trascendencia en la actualidad y se relaciona con conceptos como la competencia basada en el conocimiento que es diferente a la información, pues involucra la cabal utilización de la información y datos disponibles, los cuales son potenciados por el talento humano, cimentado en habilidades, competencias ideas e instituciones.

Cuando de Gerencia de Conocimientos hablamos, entendemos por esta, el proceso de organización, planificación, control y producción, aplicado a la creación de nuevos conocimientos en las organizaciones. Es decir, la gestión integrada de la generación y asimilación de nuevos conocimientos y de las tecnologías de la información, aplicadas a las áreas estratégicas y a los factores críticos de competitividad y pertinencia de una organización.

La gestión del conocimiento se hace tema obligado en el sector empresarial por lo que tiene que ejecutarse de manera que las tecnologías sean usadas adecuadamente y en la medida que sea posible, mejoradas y adaptadas a nuestras condiciones pues es evidente que si los ingenieros utilizan tecnologías que no son apropiadas es que son negligentes, si no saben lo que es apropiado es que son ignorantes; y si no se preocupan de lo que es apropiado pierden todo el derecho a la consideración profesional.

Por su incidencia en la competitividad tecnológica, entendida como el grado en que produce sus bienes y servicios para ser insertados tanto en el mercado nacional como internacional llegando a considerarse un aspecto ineludible en el contexto global actual. Se hace imprescindible la ejecución de acciones que incentiven, obliguen y apoyen a la empresa a mantenerse actualizada en este sentido.

Para lograr los objetivos de la Gestión del Conocimiento, se requiere contar con promotores y gestores del conocimiento, definir sus roles en este asunto, garantizar un trabajo en equipo, establecer infraestructura tecnológica, lograr un ambiente cultural y humano propicio y garantizar los recursos financieros. En este sistema de relaciones se encuentran las que se establecen entre el sector empresarial y los centros de generación de conocimientos, específicamente las universidades, que propician una buena parte de la producción de conocimientos científicos que no siempre es aprovechado y en muchos casos poco asimilados por el sector empresarial.

Y en este sentido está llamada la actuación de los diferentes actores sociales, que se expresa en la labor de toda la Comunidad Científica que interviene en la gestión del conocimiento mediante una estrategia colaborativa, donde todos sus miembros se integren y cobren auténtica dimensión en aras de alcanzar un desarrollo sostenible y un incremento de empleo de calidad [4].

En el sector de la industria de procesos químicos y fermentativos entendemos por comunidad científica, al colectivo que congrega a hombres de pensamiento de todos los factores sociales tanto de los centros de generación de conocimientos de forma general, como los del propio sector (empresas, delegaciones, ministerio), que interactúan entre si y se encuentran bajo ciertas regulaciones e intereses. Dentro de su accionar se encuentra como principal función la búsqueda de soluciones a los problemas que en materia científica tecnológica enfrenta este sector. Actuando sobre

la base de que cada uno de sus miembros, partiendo de que tienen las mismas posibilidades en este sentido, haga su aporte de acuerdo a su capacidad.

Desde un estudio sobre gestión del conocimiento en la industria química y fermentativa se pudo constatar, entre otros aspectos, que:

Referido a la situación actual en materia tecnológica del sector industrial de la industria química y fermentativa se constata el criterio de que el estado actual de la tecnología con que cuenta esta industria se clasifica como de obsoleta o de riesgo, que existe mucho desconocimiento por parte de los empresarios acerca de cuál es la tecnología de punta que en estos momentos se utiliza a nivel internacional y que posibilidades de asimilación de estas pueden obtener.

Referido a estado actual del vínculo entre el sector industrial y los con sectores de Centros de Gestión del Conocimiento (CGC) se expresa que, aunque existen relaciones aún estas son insuficientes caracterizadas por una falta de comunicación entre ambos, aún no se logra un acercamiento efectivo entre estos sectores, manifestándose entre otras formas, dificultades para establecer y formalizar contratos para la labor en conjunto. Se desconocen las ofertas de conocimientos tecnológicos que los CGC poseen, así como la demanda de estos que tiene el sector industrial debido a estas no se encuentran trazada dentro de las líneas de investigación de la estrategia de trabajo de los CGC [3], [4].

En cuanto a las líneas de interés para establecer vínculos de trabajo entre ambos sectores se manifiesta mayor inclinación por la búsqueda de información sobre tecnologías líderes para la competitividad de su empresa, el mejoramiento de los indicadores económicos, energéticos, de calidad o ambientales, propuestas para la generación de ambientes creativos que fortalezcan trabajos en equipos, ejecución de proyectos, participación en eventos, desarrollar actividades de cooperación en cuanto a la superación y preparación de los recursos humanos mediante cursos, entrenamientos, especializaciones, diplomados, maestrías, etc. Posibilidades de comercializar el producto generado en los CGC a ciclo completo.

El objetivo de la vinculación de la universidad con la empresa debe partir de elevar la calidad de la investigación y la docencia universitaria, logrando integrar la universidad con las necesidades de la sociedad [1], [2].

No obstante, se resume que estas motivaciones unidad de la posibilidad de disponer de un financiamiento adecuado no bastan para llevar adelante el proceso de vinculación de la universidad y la empresa pues lograr transferir la tecnología desde la propia universidad hasta el sector empresarial depende además de otros factores que son extraordinariamente necesarios para el logro exitoso de este proceso, a saber, los siguientes elementos:

- Tener definida la misión en la universidad.
- Tener definidas las necesidades de la comunidad científica y las necesidades sociales.
- Disponibilidad de recursos.
- Tener un liderazgo emprendedor.
- Incentivar la actividad científica, investigativa y docente de profesores e investigadores.
- Existencia de buenas relaciones personales entre los miembros del sector empresarial y la universidad. Gestión para el logro del vínculo universidad- empresa [3].

Se ha hecho un análisis hasta aquí del estado actual de la gestión del conocimiento en el vínculo entre el sector de la agroindustria de la caña de azúcar y los centros de generación de conocimiento, específicamente de la universidad, así como del diagnóstico de las causas que originan que se

produzca esta situación. Se ha reflejado que existen limitantes o barreras que frenan este acercamiento pero que en la medida que se logre obtener una adecuada gestión para el establecimiento de vías y mecanismos que garanticen esta relación, se superará estas diferencias.

Para esto constituye una clave fundamental del éxito, el establecimiento de relaciones personales entre los actores que integran la comunidad científica que no solo descansarán sobre relaciones formales, burocráticas o contractuales, sino que estas descansen sobre la base del talento gerencial, requiriendo de personas bien entrenadas en la gestión tecnológica.

El éxito de esta vinculación pasa por un adecuado liderazgo de esta actividad, por ello es imprescindible en una acción prospectiva que los estudiantes universitarios vean en sus profesores a líderes científicos que con un importante papel en el vínculo universidad empresa ocupen un rol influyente en la Comunidad Científica [1], [2].

La transferencia de tecnología es un proceso negociado que implica el diálogo permanente, un ambiente de buena fe, excelentes relaciones interpersonales y una buena actitud del personal que dirige la actividad tanto en la empresa como en la universidad.

En aras de contribuir al incremento del vínculo universidad- empresa y que ayuden a revertir la situación actual de la industria de química y fermentativa, proponemos:

Fortalecer el desarrollo y formación de cuadros científicos desde la industria.

Clarificar el proceder para estos casos y el aporte específico de los tutores universitarios en este desempeño [4].

Por fortuna, como colectivo científico y de formación de doctores en Ingeniería Química, se ha acumulado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas una experiencia que nos permite extraer reglas generales, a continuación, vemos lo documentado:

1. En 1982 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas en la temática de **“Modelación y optimización de un proceso tecnológico para la producción de cartón para ondular”**, [5] (González, 1982) realizada esencialmente desde la industria y tuvo como rasgo esencial el procesamiento matemático de datos del control de calidad y del control del proceso tecnológico, aportando a la ciencia en lo referente a los métodos y en lo cual el uso de los métodos estadísticos de planificación experimental [6] (Box-Wilson, 1951) [7] (Box y Hunter, 1961) [8] (Laflamme, 1969)., modelación matemática de procesos [9] (Himmelblau, 1970): y la optimización [10] (Foster; 1969) guiados por un procedimiento heurístico fueron esenciales en la intensificación [11] (Zscherpe y Hartmann, 1976) . Todo ello en un profundo conocimiento de la vivencia del proceso tecnológico del aspirante, aspecto que difícilmente se logra en un aspirante formado desde la universidad. Todo ello fiscalizado sistemáticamente al evaluar sus avances por el colectivo científico y con la inserción como colaboradores de estudiantes de pregrado.
2. En 1992 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas en la temática de **“Alternativas tecnológicas y energéticas para la intensificación de la industria cerámica en Cuba”** [12] (Regalado, 1992), realizada esencialmente en la industria y que tuvo como rasgo esencial la intensificación de los sistemas energéticos con apoyo de diagramas heurísticos y de métodos matemáticos de optimización pues como se sabe, la función clave de la intensificación es la optimización, para lo cual los métodos estadísticos y la modelación matemática son esenciales [13] (Kafarov, 1976). Todo ello en un profundo conocimiento de la vivencia del proceso tecnológico del aspirante, aspecto que difícilmente se logra en un aspirante formado desde la universidad. Todo ello fiscalizado sistemáticamente al evaluar sus



avances por el colectivo científico y con la inserción como colaboradores de estudiantes de pregrado.

3. En 1994 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas en la temática de **“Intensificación de los procesos tecnológicos de producción de Cerámica técnica”** [14] (Garcés, 1994), realizado totalmente en la industria y que tuvo como rasgo esencial la intensificación de los procesos tecnológicos con apoyo de diagramas heurísticos y de métodos matemáticos de estudio de mezclas de componentes [15] Gorman y Hinman, 1962) aplicados a estudios concretos [16] (Garcés, et al 1995a) y [17] (Garcés, et al 1995b) para materiales cerámicos pues la mezcla de materiales y las óptimas condiciones de tratamiento en los hornos cerámicos es la clave de la calidad de estos productos que ahorran cuantiosos recursos tanto para la industria eléctrica como para la propia industria química. Todo ello en un profundo conocimiento de la vivencia del proceso tecnológico del aspirante, aspecto que difícilmente se logra en un aspirante formado desde la universidad Todo ello fiscalizado sistemáticamente al evaluar sus avances por el colectivo científico y con la inserción como colaboradores de estudiantes de pregrado.
4. En 1996 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas en la temática de **“Alternativas de utilización de las materias primas para la producción de vidrio en la Empresa de Vidrio de Las Tunas”** [18] (Borges, 1996), realizado totalmente en la industria y que tuvo como rasgo esencial la aplicación de un procedimiento heurístico que incluyo la selección de variables mediante el método de análisis de sistemas multivariados [19] (Isaccson, 1970) en específico el de [20] Plackett Búrman (1946) y estudio de optimización de las mezclas [21] (Scheffé 1958) de componentes de vidrio roto y arenas para lograr mínimos costos totales de producción con las calidades requeridas [22] (Borges et al, 1995) y considerando los aspectos de optimizar mezclas componentes no solo desde el punto de vista técnico, sino también económico debido al peso que en la solución del problema tuvo el conocido problema del transporte [23] (Dantzig, 1963) todo ello mediante métodos matemáticos de optimización del transporte en vínculo con los estudios de mezcla de materias primas para vidrios. Todo ello en un profundo conocimiento de la vivencia del proceso tecnológico del aspirante, aspecto que difícilmente se logra en un aspirante formado desde la universidad. Todo ello fiscalizado sistemáticamente al evaluar sus avances por el colectivo científico y con la inserción como colaboradores de estudiantes de pregrado.
5. En el 2008 se defendió el gradocientífico de Doctor en Ciencias Técnicas en la temática de **“Estrategia de reconversión de una instalación de la industria química”** [24] (González, 2008), realizado totalmente en la industria y que apoyado en un procedimiento heurístico trabajo con la representación matemática no solo del proceso tecnológico global, sino también el impacto de las inversión, es de forma cuantitativa para incrementar la eficiencia del proceso tecnológico todo con apoyo de métodos matemáticos de modelación estadística de los procesos industriales [25] (Cardoso. 1993) y la esperanza matemática para la incertidumbre en las inversiones [26] (González, 2005). Todo ello en un profundo conocimiento de la vivencia del proceso tecnológico del aspirante, aspecto que difícilmente selogra en un aspirante formado desde la Universidad. Todo ello fiscalizado sistemáticamente al evaluar sus avances por el colectivo científico y con la inserción como colaboradores de estudiantes de pregrado.
6. En el 2019 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas en la temática de: **“Gestión de la tecnología y la innovación y su integración con el análisis complejo de**



**procesos en la ronera central**” [27] (Guzmán, 2019) utilizando en los procesos los métodos matemáticos de consideración de la incertidumbre en los procesos industriales [28] (Rudd-Watson, 1968) y de intensificación de procesos industriales de simulación de procesos y optimización [26] (González et al, 1968). Todo ello en un profundo conocimiento integral de la vivencia del proceso tecnológico de la aspirante, aspecto que difícilmente se logra en un aspirante formado desde la universidad.

7. En el 2020 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas en la temática de: **Modelación Cinética y Optimización del Añejamiento en la Industria Ronera Cubana aplicados al Ron Cubay**. [29] (Martí, 2020) aplicando sólidos procedimientos matemáticos de obtención de la cinética de las reacciones químicas mediante el procesamiento de datos del control operacional [30] (Martí et al., 2019) que se reflejan en la contribución de la ingeniería de las reacciones químicas al desarrollo de nuevos procesos industriales [31] (González et al., 2019); así como el uso de la Programación Lineal en los procesos industriales [32] (Fleites et al., 2020). Incluyendo en el estudio un profundo conocimiento de las características y requisitos de la producción del Ron propio de un Maestro Ronero.
8. En el 2023 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, en la temática de **“Procedimiento para el aumento de la Capacidad Tecnológica de la producción de líquido asfáltico en la refinería de petróleo “Sergio Soto”,** realizado totalmente en la industria y que apoyado en un procedimiento heurístico de trabajo [33] (Bonachea et al; 2021 a) y con la aplicación de métodos matemáticos de Programación Lineal para la optimización de la integración material y energética de procesos industriales [34] (Garrison, et al, 1996) aplicado directamente en la instalación. [35] (Bonachea et al; 2021b) con el respaldo de su profundo conocimiento de este sector industrial.
9. En el 2023 se defendió el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, en la temática de **“Estrategia inversionista, considerando incertidumbre, para garantizar la producción de líquido asfáltico en la refinería de Cabaiguán”,** [36] (Hurtado, 2021) realizado totalmente en la industria y que apoyado en un procedimiento heurístico de trabajo y con la representación matemática de las probabilidad de trabajo sin fallos [37] (Morales y González, 2017) permitió con apoyo de la poderosa herramienta que es la Programación Lineal [32] (Fleites et al., 2020) y el uso de la Esperanza matemática [15] (González, 2005) para determinar el orden de ejecución de las alternativas inversionistas e incrementar la disponibilidad anual de la instalación.

De estos resultados alcanzados se desprenden los siguientes rasgos generales:

- La génesis de todas las investigaciones a que respaldaron las tesis doctorales fueron problemas del desarrollo y operación eficiente de la empresa y era obligación laboral de los aspirantes trabajar en su solución.
- Procedimiento heurístico del trabajo, aportado por la UCLV a través del tutor y de la escuela de formación de doctores del Departamento de Ingeniería Química;
- Aplicación de métodos matemáticos de planificación de experimentos, procesamiento de datos y optimización de procesos como herramientas para acelerar los resultados de la investigación y respaldar la propuesta de resultados mediante las posibilidades de las abstracciones matemáticas y garantiza con el procedimiento heurístico por un lado la novedad científica y por otro la propuesta de recomendaciones de beneficio al problema social.

- La inserción de estudiantes de pregrado como colaboradores científicos
- Un riguroso sistema de control con oponencia por parte del colectivo científico Departamento
- Un profundo conocimiento del mundo tecnológico en el cual se desarrolló la investigación aportado por el aspirante.
- A formación de doctores desde la industria puede ser un arma poderosa para la introducción de los resultados de la Ciencia y la Tecnología.

De acuerdo a esta experiencia y con la intención de lograr resultados equivalentes se trabaja en este momento en tesis doctorales desde la industria, intentado cumplir con estos requisitos, saber:

- La optimización de etapas claves de las tecnologías de producción
- Los cambios tecnológicos requeridos para diferentes producciones en la industria.
- La estrategia inversionista minimizando el riesgo en la industria de procesos.

En todos los casos se trabaja con directivos de las empresas dando respuesta a las necesidades de formar no solo doctores en la industria sino también favoreciendo su formación entre directivos como una vía de transmitir el método científico a la producción.

### 3. Conclusiones

Existieron condiciones comunes entre los doctores formados históricamente en Ingeniería Química desde las industrias químicas y fermentativas.

Los procedimientos heurísticos y la aplicación de los métodos matemáticos han sido base de la sostenibilidad científica de todos los trabajos realizados.

La génesis de todos los doctorados defendidos desde profesionales de las industrias han sido problemas reales de demandas del mundo empresarial y ha cumplido de los requisitos que se formulan para la investigación científica de los Problemas Sociales de las Ciencias.

En todos los casos los doctorandos que han defendido exitosamente han tenido un alto prestigio profesional, dominio de las tecnologías en estudio y responsabilidades en la conducción de las labores en las empresas.

### Referencias

- [1] González Suárez Erenio, Miño Valdés Juan E., Concepción Toledo Diana N., (2018). **El valor intangible de las consultoras desde la universidad en el desarrollo de la industria química**. Rev Científica Universidad y Sociedad. Vol. 10, Nro 4, julio–sept, Cienfuegos (2018), pág.97-102, ISSN 2218-3620.
- [2] Concepción Toledo Diana N., (2015). **Estrategia para la preparación en gestión del conocimiento de la comunidad científica de la industria de la caña de azúcar mediante el vínculo universidad-empresa**. Tesis en opción al Grado Científico de Doctora en Ciencias de la Educación. Univ. Central de las Villas, Cuba.
- [3] Concepción Toledo, D. N., González Suárez, E., García Prado, R. A., Miño Valdés, J.E. (2019) **Metodología de la investigación: Origen y construcción de una tesis doctoral** . Revista Científica de la UCSA. Vol 6 Nro 1. Abril de 2019. 76-87Doi: 10.18004/ucsa/2409-8752/2016.003(02)058-067.
- [4] Concepción Toledo, Diana Niurka Erenio González Suarez, Víctor González Morales, Lázaro Guerrero Fernández. (2013). **La organización de la gestión del conocimiento desde el vínculo universidad empresa**. Centro Azúcar, 40, (4). 46-50. Octubre-diciembre, ISSN 2223-4861. Referenciada en: CITMA, DOAJ, Latindex, Cuba Ciencias, Fuente Académica, Informe Académico. Vol. 40 año 2013.
- [5] González Suárez, E. (1982). **Modelación y optimización de un proceso tecnológico para la producción de cartón para ondular**. (Tesis doctoral). Universidad Central de Las Villas.

- [6] Box, G. E. P. y Wilson, K.B., (1951). "On the Experimental Design Attainment of optimum Condition" Journal Rev.Stat.Soc.(13). Disponible en : [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwit8aG797\\_9AhWwLEQIHVYVDBYQQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.scrip.org%2F\(S\(i43dyn45teexjx455q1t3d2q\)\)%2Freference%2FReferencesPapers.aspx%3FReferenceID%3D2520762&usg=AOvVaw32-K0F5CzxQ64MAHCl35a3](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwit8aG797_9AhWwLEQIHVYVDBYQQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.scrip.org%2F(S(i43dyn45teexjx455q1t3d2q))%2Freference%2FReferencesPapers.aspx%3FReferenceID%3D2520762&usg=AOvVaw32-K0F5CzxQ64MAHCl35a3)
- [7] Box, G. E. P. y Hunter, T.S. (1961). "The 2 k -p "Factorial Designs". Technometric (8): pp. 311- 352. Disponible en: [https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Box%2C+G.+E.+P.+y+Hunter+%2C+T.S.+\(1961\)](https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Box%2C+G.+E.+P.+y+Hunter+%2C+T.S.+(1961)).
- [8] Laflamme, J. (1969). **Simplex Lattice Desing** : use in evaluation of a three component wood system Pulp and Paper of Canada, 7376. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjwPWJkMD9AhVUm2oFHTc9DZsQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fagris.fao.org%2Fagris-search%2Fsearch.do%3FrecordID%3DUS201301226343&usg=AOvVaw1DH2ygytYDZAa-jVQR7mA>.
- [9] Himmelblau, D.M. (1970): "**Process Analysis by Statistical Methods**". New York, John Wiley & Sons, 1970, pag.3 Disponible: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjBzqfeiMD9AhV yHEQIHUNcBdsQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fdokumen.tips%2Fdocuments%2Fprocess-analysis-by-statistical-methods-d-himmelblau.html&usg=AOvVaw0fyOhxQjL FnoVhjNmCF6AI>.
- [10] Foster, B. (1969). **Linear Programing: a method of determinig least cost blends or mixes papermaking**. TAPPI, 52 (9), 15581560. Disponible en: [https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Foster,+B.+\(1969\).+Linear+Programing:+a+method+of+determinig+least+cost+](https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Foster,+B.+(1969).+Linear+Programing:+a+method+of+determinig+least+cost+).
- [11] Zscherpe, J., & Hartmann, K. (1976). Anwendung systemverfahrens technischer methoden zur intensivierung chemischer anlagen dargestellt am beispiel einer synthesesanlage. Chemische Technik, 325-328.
- [12] Regalado Ciriano, N. (1992). **Alternativas tecnológicas y energéticas para la intensificación de la industria cerámica en Cuba**. (Tesis doctoral). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- [13] Kafarov, V. (1976). Cybernetic methods in Chemistry and Chemical Engineering. Moscow: MIR. Disponible en: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi8\\_OSGjcD9AhUViGoFHRc1DZ0QFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.bucl.in%2Fcgi-bin%2Fkoha%2Fopac-tail.pl%3Fbiblionumber%3D24478&usg=AOvVaw2LGLSSWj4PhzyRI6vRMLKY](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi8_OSGjcD9AhUViGoFHRc1DZ0QFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.bucl.in%2Fcgi-bin%2Fkoha%2Fopac-tail.pl%3Fbiblionumber%3D24478&usg=AOvVaw2LGLSSWj4PhzyRI6vRMLKY).
- [14] Garcés, L. (1994). **Intensificación de los procesos tecnológicos de producción de Cerámica técnica**. (Tesis doctoral). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- [15] Gorman, J. W.; J. E. Hinman (1962): Simplex lattice desings for multicomponent system. Technometric, Vol 4 (4), Nov., En: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjf9teVhcD9AhXuPkQIHTXjB2YQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.jstor.org%2Fstable%2F1266284&usg=AOvVaw0hDvFeKaiyydUwclD0iyTn>
- [16] Garcés, E. González, N. Regalado. (1995a.). "**Determinación de la mejor composición de la mezcla para la producción de materiales en la producción de cerámica para aisladores**". Rev.Centro Azúcar. Año 22 (3), pag.65.
- [17] Garcés, L. E. González, N. Regalado.(1995b). **Determinación de la proporción óptima de la mezcla para la producción de cerámica antiácida**". Rev.Centro Azúcar. Año 22 (3), pag.84-89
- [18] Borges, A. (1996). **Alternativas de utilización de las materias primas para la producción de vidrio en la Empresa de Vidrio de Las Tunas**. (Tesis doctoral). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- [19] Isaccson, W. B.: (1970) "**Statistical Analyses for Multivariable Systems**". Chem Eng., (6): 69-75.
- [20] Plackett, R. L.– J. P. Burman. (1946.): The disegn of optimun multifactorial experiments. Biometrika, 33: pag. 305-325, Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjCqZnTmMD9AhVunWoFHTOSDdAQFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.jstor.org%2Fstable%2Fpdf%2F2332195.pdf&usg=AOvVaw0XVgziKyx60ZreA1xVtWdn>
- [21] Scheffe, H. (1958)" Experiment with mixture". Journal of Royal Statistical Society". Vol. 20. 311 360.

- [22] Borges, A., E. González, N. Regalado (1995). **Determinación del porcentaje permisible de vidrio roto en la minimización de los consumos de combustible en un horno de vidrio**. Centro Azúcar. Año 22, (3) Septiembre-Diciembre, 1995.75 76. Disponible en: [https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Borges,+A.,+E.+Gonz%C3%A1lez,+N.+Regalado+\(1995\).](https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Borges,+A.,+E.+Gonz%C3%A1lez,+N.+Regalado+(1995).)
- [23] Dantzig G. B., (1963) *Linear Programming and Extensions*, Princeton University Press, Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiZ5JHg-9AhXyk2oFHeMJC1wQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.rand.org%2Fcontent%2Fdam%2Frand%2Fpubs%2Freports%2F2007%2FR366part1.pdf.&usg=AOvVaw2WDC2uJ2NwZn3EY8u9JAIL>
- [24] González Suárez, E. (2008). **Estrategia de reconversión de una instalación de lándustria química**. (Tesis doctoral). Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- [25] Cardoso, G. (1993). **Contribución a la modelación estadística de procesos de la Industria Química**. **Disertación**. UCLV.
- [26] González E. (Editor). **Vías para el diseño de nuevas instalaciones de la industria química, fermentativa y farmacéutica**. Edit.Cient.Téc., La Habana, 2005, pag 263. -ISBN 959 05-0377-2. Disponible en: <https://isbn.cloud/en/9789590503771/vias-para-el-diseno-de-nuevas-instalaciones-de-la-industria-de-procesos-quimicos-fermentativos-y/>
- [27] Guzmán Villavicencio, M. (2019). **Gestión de la tecnología y la innovación y su integración con el análisis complejo de procesos en la ronera central**. (Tesis doctoral). Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- [28] Rudd D. y C. Watson (1968) **Strategy of Process Engineering**. McGraw Hill. NY Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiF243xmMD9AhV9l2oFHS0dDScQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.amazon.com%2FStrategy-Process-Engineering-Dale-Rudd%2Fdp%2F0471744557&usg=AOvVaw2sIA2Zoz6cf0H0E5F21C3Y>
- [29] Martí Marcelo; Cesar (2020). **Modelación Cinética y Optimización del Añejamiento en la Industria Ronera Cubana aplicados al Ron Cubay**, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- [30] Martí Marcelo, C.A., J.A Fabelo Falcón, E. González Suárez y Y. Rodríguez Padrón (2019). **Metodología para la obtención de los modelos cinéticos de reacciones complejas en añejamientos de bebidas espirituosas**. **AFINIDAD LXXVII, 587-590** Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjGsZHxkMD9AhUP12oFHbYXDjAQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Faco.cat%2Findex.php%2Fafinidad%2Farticle%2Fview%2F367902&usg=AOvVaw3bf5BS0ahQio9MIWyeXrcE>
- [31] González Suárez Erenio, Juan Esteban Miño Valdés, Omar Pérez Navarro. (2019). **“Contribución de la Ingeniería de las Reacciones Químicas al desarrollo de nuevos procesos industriales”**. EdUNaM. ISBN: 978-987-86-2098-5, Posadas. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12219/3003>.
- [32] Fleites Ávila, Y., C A Martí Marcelo, Y. Albernas Carvajal, J. E. Miño Valdés E. González Suárez (2020). **Experiencias de las aplicaciones de la programación lineal en la industria de procesos químicos en Cuba**. *Revista Centro Azúcar*. Vol. 47 (4), octubre-diciembre del 2020 Disponible en: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjNqZSO\\_b\\_9AhVVKkQIHSjoDN0QFnoECAsQAQ&url=http%3A%2F%2Fcentroazucar.uclv.edu.cu%2Findex.php%2Fcentro\\_azucar%2Farticle%2Fview%2F634&usg=AOvVaw04do125GW3Jnis0FeLvjMs](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjNqZSO_b_9AhVVKkQIHSjoDN0QFnoECAsQAQ&url=http%3A%2F%2Fcentroazucar.uclv.edu.cu%2Findex.php%2Fcentro_azucar%2Farticle%2Fview%2F634&usg=AOvVaw04do125GW3Jnis0FeLvjMs)
- [33] Bonachea Crespo, Mijail Omar Pérez Navarro y Julio Pedraza Gárciga (2021a) **Procedimiento de evaluación y adaptación de tecnología para el incremento de la producción de líquido asfáltico** Centro Azúcar 3/pp.98-107. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v48n3/2223-4861-caz-48-03-98.pdf>
- [34] Garrison, G.W.; H.D. Spriggs, M. M. El - Halwagi (1996) "A Global Approach to Integrating Environmental, Energy, Economics, and Technological Objectives". The 5 th World Congress of Chemical Engineering" California, USA, July.
- [35] Bonachea Crespo, M., & Hernández Tousef, J. P., & Pérez Navarro (2021b) **Análisis y diseño de la red de intercambiadores de calor en una refinería de petróleo**. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(S3), 584 591. Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2524>

- [36] Hurtado Alemán Lester (2021). **Estrategia inversionista, considerando incertidumbre, para garantizar la producción de líquido asfáltico en la Refinería de Cabaiguán** Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- [37] Morales-Zamora Marlén. Erenio González-Suárez. (2017) **Evaluación de la fiabilidad en una industria diversificada a partir de la reconversión de sus instalaciones**. Tecnología Química, ISSN2224- 6185, Vol XXXVII, Número 1, 5-15 Disponible en: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjvubT5IMD9AhUXRjABHR-QD-QFnoECAoQAQ&url=http%3A%2F%2Fscielo.sld.cu%2Fscielo.php%3Fscript%3Dsci\\_arttext%26pid%3DS2224-61852017000100001&usg=AOvVaw3oGLvfFvDk5mQV16ORLF9I](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjvubT5IMD9AhUXRjABHR-QD-QFnoECAoQAQ&url=http%3A%2F%2Fscielo.sld.cu%2Fscielo.php%3Fscript%3Dsci_arttext%26pid%3DS2224-61852017000100001&usg=AOvVaw3oGLvfFvDk5mQV16ORLF9I).



## Formación de Doctores en la Estrategia de Gestión del Conocimiento para Desarrollar la Industria de la Caña de Azúcar como Biorrefinerías

Erenio González Suárez<sup>a,\*</sup> , Diana N. Concepción Toledo<sup>a</sup> ,  
Juan Esteban Miño Valdés<sup>b</sup> , Ana C. de Armas Martínez<sup>a</sup> , Juan P. Hernández Touset<sup>a</sup> 

<sup>a</sup> Dpto. Ing. Quím., Fac. de Quím. y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas (UCLV), Cuba.

<sup>b</sup> Dpto. de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Argentina.

e-mails: [erenio@uclv.edu.cu](mailto:erenio@uclv.edu.cu), [dianac@uclv.edu.cu](mailto:dianac@uclv.edu.cu), [jemino53@gmail.com](mailto:jemino53@gmail.com), [anaciaam@uclv.edu.cu](mailto:anaciaam@uclv.edu.cu),  
[juanpedro@uclv.edu.cu](mailto:juanpedro@uclv.edu.cu)

---

### Resumen:

En el trabajo se presenta una síntesis de la experiencia de gestionar el conocimiento a través de la formación de Doctores en el vínculo universidad empresa, para contribuir a desarrollar la industria de la caña de azúcar en el concepto de biorrefinerías, sin afectar el medioambiente. Se concluye, que la industria de la caña de azúcar presenta una nueva posibilidad de desarrollo competitivo mediante el aprovechamiento de los residuos de sus producciones principales y derivadas, que justifica el empleo de la caña de azúcar como fuente de alimentos, productos químicos y energía, en la estrategia para desarrollar biorrefinerías en estas instalaciones industriales, donde la generación de nuevos conocimientos se obtiene de las novedades científicas que presentan los doctores al graduarse

**Palabras clave:** Alimentos, Biorrefinería, Caña de azúcar, Conocimientos, Doctorado.

---

### Abstract

The work presents a synthesis of the experience of managing knowledge through the training of Doctors in the university-business link, to help develop the sugarcane industry in the concept of biorefineries without affecting the environment. It is concluded that the sugarcane industry presents a new possibility of competitive development through the use of residues from its main and derived productions, which justifies the use of sugarcane as a source of food, chemical products and energy, in the strategy to develop biorefineries in these industrial facilities, where the generation of new knowledge is obtained from the scientific innovations presented by the doctors upon graduation.

**Keywords:** Food, Biorefinery, Sugarcane, Knowledge, Doctorate.

---

## 1. Introducción

Uno de los problemas más apremiantes del desarrollo económico de la industria de la caña de azúcar es la necesidad de ampliar sus posibilidades en el mercado. Para ello requiere trabajar en la asimilación de tecnologías que permitan obtener productos de alto valor agregado y una diversidad que posibilite satisfacer las demandas del mercado incluso en los ámbitos territoriales contribuyendo a los desarrollos locales y con ello también su desarrollo sustentable.

Esta realidad, que se hace cada día más cierta, será el escenario donde tendremos que competir en este nuevo siglo XXI y que sólo se podrá hacer sobre la base de una mayor eficiencia productiva y la diversificación de la producción que permita alcanzar costos competitivos y acceder a un mayor número de mercados.

Las empresas son decisivas en el crecimiento económico de un país por su peso determinante en las aspiraciones de su desarrollo, por lo que se hace necesario garantizar que mantengan una buena salud ante las nuevas exigencias de hoy. Para el logro de esta aspiración juega un papel importante la capacidad de asimilación de la empresa para aprovechar el conocimiento generado por los centros de

investigación y desarrollo y los que sus trabajadores poseen. La aparición de la economía basada en el conocimiento supone que la capacidad de una empresa para crear valor ya no depende exclusivamente de su capacidad financiera y de producción, pues su posición relativa en la competencia depende cada vez de esas habilidades pues sin dudas, la esencia socio clasista determina aquí no solo la forma, sino también el contenido de la manera en que la empresa puede aprovechar “el capital humano”, aunque hay márgenes de acción que pueden hacer diferencias importantes [1].

En las condiciones actuales del mundo moderno, afectado por los históricos impactos negativos al medio ambiente y la crisis de los combustibles fósiles, se presenta la dualidad de necesidades de nuevas fuentes de combustibles y también de materias primas para la obtención de productos químicos, pues como se comprende, la carencia de combustibles fósiles también afecta la fuente de materias primas para productos químicos [2].

Es entonces un problema cardinal de las ciencias modernas el desarrollo de alternativas tecnológicas que permitan aprovechar la biomasa disponible como fuente de materias primas. En ello la industria de la caña de azúcar que históricamente ha dado lugar a la obtención de etanol y bagazo para combustible, se convierte gracias al desarrollo del conocimiento de una prometedora fuente de combustibles y coproductos al abordar la problemática de fraccionar las diferentes partes componentes de la caña de azúcar con destinos tecnológicos diferentes de satisfacción de la necesidades de la sociedad, aprovechando sus estructuras moleculares e incorporando nuevas tecnologías que aprovechan los adelantos de la ciencia en general y de la biotecnología en particular, lo que requerirá resolver problemas de la frontera del conocimiento con la debida celeridad que sin dudas serán la génesis de temas de formación de doctores [3].

El objetivo de este trabajo fue presentar una síntesis de la experiencia de gestionar el conocimiento a través de la formación de Doctores en el vínculo universidad-empresa, para contribuir a desarrollar la industria de la caña de azúcar en el concepto de biorrefinerías, sin afectar el medioambiente.

## **2. Materiales y Métodos**

El material que se gestiona en la comunidad científica, es el conocimiento y el método que se utiliza con mayor frecuencia para generar nuevos conocimientos, es: la investigación que lleva incorporada la tesis de doctorado en la formación de doctores.

### *2.1. Grupos que gestionan el conocimiento en la agroindustria azucarera: objetivos*

Según [4] y [5] interaccionan 3 sectores, ellos son: a. Estado y gobierno, b. Centros del conocimiento (Universidad y agroindustria), c. Empresariado:

#### *a. Estado y gobierno:*

Impulsar el desarrollo de la ciencia a partir de la base de que el financiamiento y los recursos que hacia este objetivo se destinen, constituyan una inversión imprescindible y no un gasto que recaea sobre sus espaldas.

Establecer una política de financiamiento descentralizado al sector empresarial que contribuya a viabilizar la ejecución de inversiones y proyectos dentro de la industria.

Establecer que los resultados y el reconocimiento que se genere a partir de las investigaciones científicas beneficien y estimulen tanto al sector empresarial como a los centros de generación de conocimiento.



Establecer que el trabajo de los centros de generación del conocimiento y del sector empresarial, están vinculadas a la ciencia, a la tecnología, al mercado y por último a la sociedad, siendo esta la que realmente se satisface con los productos tecnológicos que se generan del resultado de las investigaciones científicas.

Orientar que la propia concepción, planificación y ejecución del trabajo científico investigativo estén dirigidos a la culminación a ciclo completo de la actividad científico productiva.

Orientar que la ejecución de proyectos de investigación se formule como parte de oportunidades de negocio, identificados en conjunto entre el sector empresarial y los centros de generación de conocimientos, y por solicitud del primero, para garantizar la introducción de los resultados científicos.

Asegurar la introducción de los resultados en la práctica productiva, vinculándolo a la comercialización del producto de la ciencia y la técnica, garantizando para esto el financiamiento previo de la actividad científica.

Establecer una política de colaboración internacional que propicie la transferencia de tecnología para el beneficio mutuo entre las partes involucradas.

Apoyar la actividad científica investigativa en la colaboración internacional de manera que se obtengan beneficios mutuos entre los países que intervienen en el proceso.

Orientar acciones colaboración que propicien relaciones multilaterales internacionales con el fin de perfeccionar y acelerar la formación del capital humano.

*b. Centros de generación de conocimientos (Universidad y agroindustria) [4] y [5]:*

Dirigir el quehacer de sus investigaciones científicas en aéreas de gran impacto para el desarrollo de esta industria y que se revierta en el crecimiento económico del país.

Aprovechar el potencial de su comunidad científica y experiencia pedagógica para impulsar proyectos de beneficio y desarrollo local.

Contribuir a la preparación del relevo científico del país partiendo de un sólido compromiso social de manera que su motivación fundamental lo constituya la búsqueda de soluciones a los problemas que se suscitan en la sociedad.

Participar de la ciencia y la innovación tecnológica en vinculación efectiva, masiva y perdurable con el sector productivo.

Consolidar las capacidades de servicios y asistencia técnica al sector empresarial.

Generar conocimientos a partir de acciones de mejoras dentro de las organizaciones productivas.

Establecer la comercialización del producto científico investigando a ciclo completo.

Dirigir las investigaciones hacia los intereses de los productores que se sustenta en la demanda de productos del mercado y que constituye una oportunidad de negocio para ambas partes y con beneficio mutuo.

Crear conocimientos y tecnologías a partir de una adecuada y conjunta determinación de las demandas tecnológicas de las empresas productoras que garantice un rápido impacto de los resultados de la investigación.

Ejecutar investigaciones que propicien innovaciones tecnológicas que introduzcan valor agregado a los productos, servicios, procesos.

Apoyar la actividad científica investigativa a través de proyectos internacionales de investigación de colaboración internacional de manera que se obtengan beneficios mutuos entre los grupos de investigación y los países que intervienen en el proceso.

Elevar la autoestima de los grupos de investigación a través del reconocimiento social y económico de los resultados de su investigación científica, así como apoyos reales para el financiamiento de su desarrollo.

Llevar a cabo la formación del capital humano de técnicos, directivos del sector, así como la reserva de investigadores y científicos que laboren en este fin.

Promover la obtención de resultados investigativos con suficiente nivel de terminación para que puedan ser incorporados en breve tiempo y sin efectos económicos perjudiciales a las acciones de gestión de nuevas tecnologías en que se empeñen las empresas industriales.

Contribuir con acciones de vigilancia tecnológica, asesoría a los gobiernos de alternativas viables y no viables de desarrollo preservando la sustentabilidad energética, la compatibilidad ambiental y el desarrollo permanente.

*c. Empresariado [4] y [5]:*

Fortalecer el vínculo con los centros de generación de conocimientos para lograr la búsqueda de soluciones a los problemas que enfrenta la entidad en el orden científico tecnológico en su área mediante iniciativas creativas.

Acceder a los resultados científicos que se generan en los centros de investigación para valorar su introducción a la práctica.

Mantener una alianza efectiva con los centros generadores de conocimientos en la búsqueda de vías y oportunidades para el incremento de la competitividad empresarial.

Establecer las demandas a corto, mediano y largo plazo, que tiene la empresa en el orden científico tecnológico para crear las pautas y puntos de la investigación científica.

Fortalecer la colaboración internacional en aras de asimilar tecnologías de frontera en alianza y financiamiento conjunto con empresas líderes en las tecnologías del sector. Lo que tiene como beneficio, potenciar la cooperación tecnológica que representa en la actualidad una estrategia competitiva que permite a las empresas avanzar conjuntamente con el desafío tecnológico mediante la gestión adecuada de las alianzas tecnológicas con los centros de generación de conocimiento, que le permitirá:

- Acceso a oportunidades de colaboración internacional que propicien y asesoren por sus centros de generación de conocimientos.
- Asesoría en asuntos de frontera del conocimiento en las negociaciones internacionales, debido al apoyo del personal especializado y dedicado a la ejecución de acciones de vigilancia tecnológica
- La formación especializada de capital humano para las empresas, en métodos y procedimientos frutos del conocimiento actualizado y la posibilidad de una mejora continua de sus especializadas.

## *2.2. La gestión del conocimiento*

La introducción de nuevos conocimientos para la inserción exitosa de una empresa en la actividad comercial del mundo actual, es un tema probado y aceptado por todos, que le permite integrar capacidades, habilidades, información estructurada y aplicación de tecnologías, convirtiéndose en una fuente primordial de ventajas competitivas para la empresa a través de la formulación de oportunidades de negocios [6].

Para los países que se empeñan en alcanzar estados de desarrollo superior, este aspecto es fundamental para su crecimiento económico y la posibilidad de incursionar en aquellas áreas que antes les eran vedadas. En este sentido es necesario trazar estrategias para que sean implementadas y que elevan por tanto el papel de la cultura empresarial en el aprovechamiento de este recurso.

En el proceso del conocimiento, el hombre adquiere saber, se asimilan conceptos acerca de los fenómenos reales, va comprendiendo el mundo circundante. Dicho saber se utiliza en la actividad práctica para transformar el mundo, para subordinar la naturaleza a las necesidades del ser humano [7].

El conocimiento y la transformación práctica de la naturaleza y de la sociedad son dos facetas de un mismo proceso histórico, que se condicionan y se penetran recíprocamente. El conocer mismo constituye un momento necesario de la actividad práctica de la sociedad, pues dicha actividad es propia de los hombres y éstos la realizan basándose en el conocimiento de las propiedades y de las funciones de cosas y objetos [8].

Lo que en la práctica se asimila y con ello pasa a enriquecer el saber humano, su acervo de conceptos y teorías, no es la apariencia del objeto, sino sus funciones—descubiertas gracias al hacer práctico— y, con ellas, la esencia objetiva de la cosa dada. No todas las empresas se encuentran en igualdad de condiciones para el aprovechamiento de las ventajas que ofrece la mejor utilización de los conocimientos disponibles, pues se requiere de la ejecución de prácticas hacia el interior de la entidad acorde a su necesidad e igualmente de alianzas estratégicas que les permitan acelerar la disponibilidad de nuevas soluciones prácticas tecnológicas, amparadas por el conocimiento científico [9].

La posición de una empresa es fundamental en este sentido pues no solo es válido contar con una gran acumulación de conocimientos ni su aplicación a las más modernas tecnologías si no se aplica de manera efectiva y consciente hacia las direcciones u objetivos bien determinados. Si bien es cierto que podemos encontrar hoy muchos ejemplos de empresas exitosas en el manejo del acervo de conocimientos, no resulta lo común sino más bien la excepción, aun cuando la inmensa mayoría de los gerentes repite hoy la frase de moda que “el más importante activo de la empresa son sus trabajadores”. Pero, encontrar empresas con una cultura de aprovechamiento del conocimiento existente y con estrategias consecuentemente diseñadas e implementadas al respecto sigue siendo un proceso que requiere aspectos metodológicos y de concepción de trabajo, por lo que es preciso establecer las vías y los actores para gestionar el conocimiento de manera que se propicie el desarrollo competitivo de un sector de la economía [10].

### *2.3. La gestión de tecnologías en la competitividad de la industria de la caña de azúcar.*

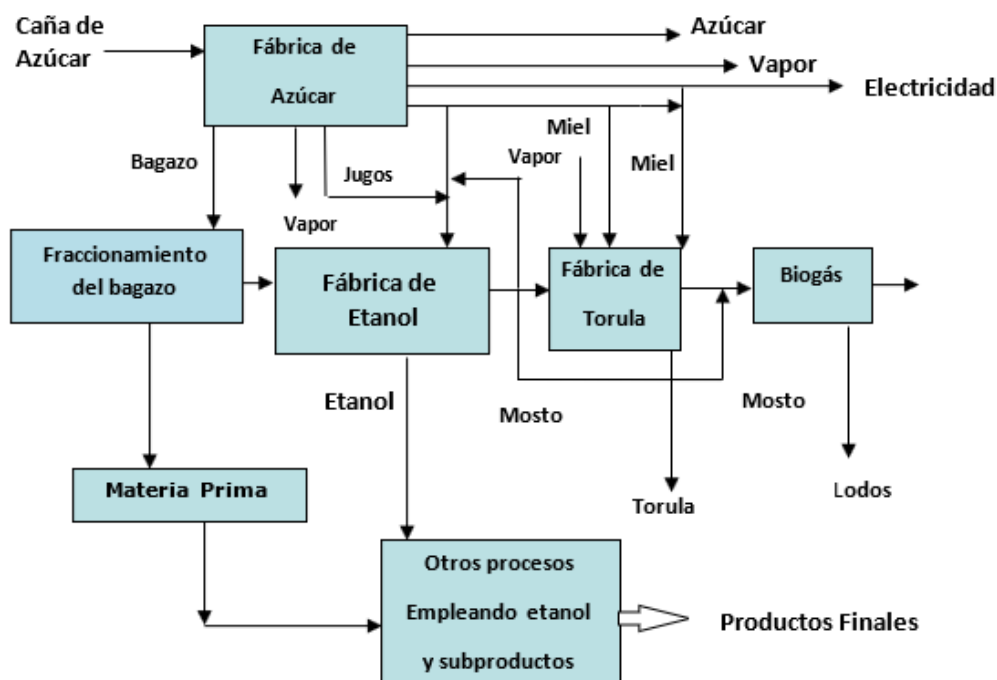
En el mundo moderno, con la actual globalización de los mercados y del conocimiento, para lograr la competitividad de un sector empresarial, se requiere pasar de la perspectiva tecnológica tradicional a una prospectiva tecnológica más constructiva que implique explorar nuevos caminos y nuevas posibilidades de materias primas y alternativas tecnológicas, por lo que se requiere de un esfuerzo innovador constante que sólo podrá materializarse si se aplican los adelantos de la ciencia y la técnica, para lo que se ha de seguir una metodología combinando los estudios prospectivos de Gestión de Ciencia e Innovación y el Análisis de Procesos como caso específico y trascendental para el desarrollo [11].

Para ello es necesario tener en consideración que la caña de azúcar, cuyo potencial genético está aún lejos de ser bien aprovechado, es una planta de características excepcionales, capaz de sintetizar

carbohidratos solubles y materiales fibrosos a un ritmo muy superior al de otros cultivos. Esta propiedad le abre un espectro prácticamente infinito de aprovechamiento para la fabricación de cientos de productos.

Ha sido siempre interés de los países productores de caña de azúcar, el desarrollo de estrategias para incrementar la competitividad de sus producciones, que ha incluido como acción fundamental, la diversificación de la industria, mediante el uso integral de la caña de azúcar como materia prima para un alto número de derivados y subproductos.

Esta limitada valoración ha quedado atrás, dando paso a criterios más extendidos entre los productores, de que el azúcar tendrá una economía estable y ventajosa en la medida en que se integre la producción de derivados, con el aprovechamiento de las ventajas comparativas que ofrece la caña de azúcar como fuente renovable de recursos materiales y energéticos.



**Fig. 1.** Esquema básico de integración material y energética para la producción de etanol y coproductos de caña de azúcar.

El concepto de diversificación ha ido evolucionando, desde producciones con tecnologías simples, hasta las más recientes, basadas en la química sintética, la biotecnología y en los procesos de obtención de nuevos materiales. Se ha pasado de índices de incrementar los valores agregados de la materia prima de alrededor de 5 valores en los menos ventajosos hasta en 20 veces el valor agregado en los productos de elaboración más complejos. En cualquier caso, una estrategia de diversificación debe partir de un aprovechamiento óptimo de la biomasa como fuente de productos químicos y energía, lo que para la producción de etanol y su empleo como materia prima obedece a un esquema básico de integración como se muestra en la Fig. 1.

La información técnica y económica plantea un amplio espectro de alternativas de desarrollo de la industria de la caña de azúcar siendo necesario emplear métodos científicos para tomar una buena decisión hacia el futuro. Sin embargo, el esfuerzo sostenido que durante años se ha realizado y oportunamente condensado en la literatura científica, no ha tenido el enfoque que hoy se nos plantea

con el concepto de no solo diversificar las producciones que utilizan como materia prima la caña de azúcar, sino con un alcance más abarcador, fraccionar la caña de azúcar atendiendo a obtener no uno, sino varios subproductos que sean susceptibles a la vez, cada uno fuente, de materia prima para un determinado producto que tenga una demanda en el mercado, que puede ser pequeña en cantidad, pero como mercado al fin permite viabiliza las rentabilidad de las instalaciones industriales, al plantearse en símil con las refinerías de petróleo una gama de productos que satisfagan diversas demandas , quizás con algunos productos líderes de alta demanda como pueden ser además del azúcar, el etanol la electricidad, todo ello estableciendo el concepto de biorrefinería de la caña de azúcar [12].

El concepto de biorrefinería constituye una vía para lograr las producciones limpias en la producción de etanol de primera, segunda y tercera generación desde la caña de azúcar favoreciendo la sinergia en el desarrollo de la industria química en lo que debe considerarse la estrategia para el incremento de la presencia de los residuos agrícolas en la matriz química [13].

Así las cosas, uno de los grandes desafíos que en la actualidad enfrentamos es la problemática de que los procesos productivos y la variedad de productos a obtener a partir del fraccionamiento de la caña de azúcar, no alcanzan valores positivos a consecuencia de diversos factores entre los cuales es significativo la carencia de tecnologías que logran satisfacer las demandas del mercado competitivo, por lo que se requieren propuestas de desarrollo de la agroindustria de la caña de azúcar, que tengan en cuenta el posible impacto en el orden social, considerando la cultura azucarera y experiencia de su personal para emprender tareas de desarrollo que con el apoyo de los centros de gestión del conocimiento, contribuyan a salvaguardar la industria de la caña de azúcar, en lo que sin dudas la comunidad científica, vista como un conjunto de hombres de pensamiento interesados en solucionar estos problemas, tendrá que dar un aporte decisivo lo en lo que el postgrado es un aspecto clave [1] y [2].

El concepto de que la biomasa es fuente de productos químicos y energía ha estado siempre presente en el pensamiento científico, no obstante, debemos reconocer que siempre se ha valorado con la visión parcial de utilizar algunas de sus partes en destinos específicos, incluso en lo que sin duda ha sido la visión más avanzada como una vía de diversificar las producciones de la industria de la caña de azúcar y no con una concepción de uso integral de la biomasa.

La atención de los científicos y empresarios hacia el uso de las fuentes renovables de energía ha sido un tema fundamental, sin embargo, las carencias de productos químicos estarán también presente con el agotamiento paulatino de los combustibles fósiles y no será posible obtener productos químicos de primera necesidad como se ha venido haciendo de no considerar en su justa medida el impacto ambiental.

El enfoque de aprovechar integralmente la biomasa disponible, como fuente de productos químicos y energía, con apoyo del concepto de biorrefinería permite, a partir de un producto líder como el etanol a través de la ya conocida e industrializada ruta alcoquímica y en adición, mediante el fraccionamiento inicial de la biomasa, posibilitar una diversidad de productos químicos de alto interés.

Definimos como biorrefinería “a la instalación donde se generan, de forma sostenible, un amplio espectro de productos de interés comercial a partir de la biomasa”, vemos que el objetivo de estas instalaciones es multipropósito, con el fin de lograr de forma sostenible varios productos de interés comercial”. También se reconoce que son “instalaciones con el equipamiento necesario para integrar los procesos de conversión de biomasa en combustibles, energía y coproductos de valor añadido” [14].

Un aspecto clave en el desarrollo de las biorrefinerías es la etapa de fraccionamiento de la materia prima, para aprovechar, como en las refinerías tradicionales de petróleo, no solo una parte de las materias primas, sino todas sus fracciones como fuente de productos químicos y energía.

Es necesario desarrollar alternativas tecnológicas viables para el fraccionamiento de los distintos tipos de biomasa, siendo entonces su fraccionamiento un paso previo a la conceptualización de la biorrefinería.

En los estudios de alternativas tecnológicas necesariamente tendrán que considerarse los problemas de incertidumbre asociados a la industria de procesos químicos que fueron ordenados por [15] en cuatro direcciones, a saber:

- Incertidumbre de los datos de diseño de los equipos.
- La consideración de las fallas operacionales de los equipos.
- Las variaciones en el entorno en el diseño y operación.
- El mejor ajuste del diseño de un proceso a los cambios futuros.

De acuerdo a lo anterior, las principales direcciones de trabajo científico para lograr el desarrollo de la industria de la caña de azúcar en el concepto de biorrefinerías, son entre otras las siguientes:

- Estudio y evaluación de diferentes alternativas de fraccionamiento de los sustratos azucarados provenientes de la caña de azúcar, evaluando la calidad de las diferentes fracciones como fuente de productos químicos de alto valor agregado, incluyendo los biocombustibles.
- Estudio y evaluación de diferentes alternativas de utilización de los desechos y corrientes secundarias de la producción de azúcar de caña, evaluando sus posibilidades como materia prima para la obtención de productos químicos de alto valor agregado incluyendo los biocombustibles.
- Estudio del uso y aprovechamiento del agua en la producción de azúcar y coproductos evaluando la alternativa de utilizar la caña de azúcar como una fuente de agua para los procesos y el entorno.
- Estudio y evaluación de diferentes alternativas de fraccionamiento del bagazo de la caña de azúcar, evaluando la calidad de las diferentes fracciones como fuente de productos químicos de alto valor agregado, incluyendo los biocombustibles.
- Desarrollo y optimización multicriterio de tecnologías de fraccionamiento del bagazo y la paja de caña para la obtención de etanol y coproductos químicos de alto valor agregado.
- Desarrollar nuevas tecnologías de obtención de productos de la fermentación de los azúcares de átomos de carbono presentes en los productos del fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar.
- Desarrollar nuevas tecnologías de obtención de productos de la lignina residual presentes en los productos del fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar.

## **4. Resultados y Discusión**

### *4.1. Accionar de la comunidad científica*

En el empeño por llevar a cabo la gestión de tecnologías que contribuyan al logro de hacer competitivas las instalaciones de la industria de la caña de azúcar, y en particular en la gerencia de conocimientos para el desarrollo de tecnologías de obtención de productos químicos de alto valor a partir de los residuos de la industria de la caña de azúcar, es importante el papel y las tareas que deben



desempeñar la comunidad científica que gira en el entorno de esta agroindustria, vista a partir del trabajo mancomunado de todos los hombres que la integran.

Se comprende que, para el logro de la gestión del conocimiento, debemos partir de acuerdo a la experiencia, que se requieren procedimientos fruto del accionar colectivo de la comunidad científica y en las condiciones de escasos recursos financieros del país, como se ha dicho a ese factor que se llama integración [7].

La dimensión colectiva del trabajo científico en la ciencia contemporánea, se ejecuta en el seno de las comunidades científicas, donde sus miembros a través del intercambio, hacen que se produzcan puntos de contacto entre las diversas disciplinas, incitando el estudio de investigaciones multidisciplinarias que suelen diseñar modelos para la solución de problemas en los cuales, la Educación Superior por su naturaleza, juega el papel de promotor educativo en la concepción de la necesaria colaboración de todos los factores. Este aspecto sea convertido en un intangible en algunas organizaciones empresariales [18].

En Cuba, que forma parte del grupo de países menos desarrollados, cobra una vital importancia el trabajo conjunto en la ciencia, pues esto permite articular el trabajo colectivo, dando la posibilidad de que diferentes puntos de vistas expongan su criterio y valoración del tema. La ciencia, la tecnología, la producción y legitimización del conocimiento requieren de un marco político y económico apropiado, reconociendo a la ciencia y la tecnología como recursos significativos, ofreciendo a los científicos el estímulo que su trabajo necesita. Esto lleva implícito una dosis de compromiso social que difícilmente pueden engendrar las sociedades donde el individualismo es un valor dominante.

Como comunidad científica entendemos el colectivo que agrupa a todos los factores sociales tanto de los centros de generación de conocimientos de forma general, como los del propio sector (empresa, delegaciones, ministerio), que dentro de su accionar se encuentra como principal función la búsqueda de soluciones a los problemas que en materia tecnológica se enfrenta este sector [19].

No obstante lo anterior, no podemos olvidar que en un mundo globalizado, la comunidad científica que sabiéndolo o no ejerce un impacto en las posibilidades empresariales de una industria, está más allá de un estrecho margen territorial o ministerial, traspasando como lo hace el conocimiento los espacios nacionales y recibiendo la incidencia constante de los adelantos tecnológicos que se logra allende los mares y los que se pueden pronosticar se obtendrán en tiempos menores que los que supone la ejecución y maduración de una inversión.

La comunidad científica, a través del desarrollo de estrategias que favorezcan la acción colaborativa de sus miembros en la gestión de tecnologías que viabilice, mediante un sistema inversionista, el incremento de la eficiencia de los procesos y la variedad de producciones para que esta sean más competitivas en el mercado. Esto solo es posible a través de un trabajo educativo que posibilite esfuerzos de conjunto en aras de aprovechar la experiencia y el vínculo de los trabajadores del sector, contar con el apoyo de los centros de gestión del conocimiento en la búsqueda de soluciones, que condicionen un impacto positivo en el orden económico - social y que tributen finalmente al rescate de la industria la caña de azúcar.

En un mundo globalizado como el nuestro, donde más del 70 % de los científicos que en la historia de la humanidad han existido, no sólo están vivos, sino que intercambian ideas y conocimientos frecuentemente, habrá que considerar en cualquier estrategia, la colaboración internacional entre los diferentes actores, pues sin duda la comunidad científica de la agroindustria azucarera es bastante amplia y rica en este sentido, pues se extiende desde los técnicos y especialistas de cada empresa, a todo el entorno con el cual interactúa.



Así, en resumen podemos relacionar a los miembros de esta comunidad técnicos y directivos que trabajan en las empresas, delegaciones y ministerio de este sector donde se produce y dirige la actividad que en ella se desarrolla; los centros de generación del conocimiento que pertenecen al propio organismo como aquellos que realizan su actividad investigativa en función de los problemas de índole científico y tecnológico que adolece este sector; el Estado y gobiernos que organizan, controlan y supervisan el accionar de los actores anteriormente citados.

Finalmente, no podemos dejar de incluir en la comunidad científica a los hombres de pensamiento que donde quiera que estén y que sin proponérselo ni conocerlo generan nuevos conocimientos para la gestión de la industria de la caña de azúcar y tenemos que formular vías y métodos eficaces para incorporar su talento y su producción de conocimientos a los intereses de esta industria como biorrefinerías [20].

## **5. Conclusiones**

Para el logro de un avance efectivo en la gestión de conocimientos que posibiliten la búsqueda de tecnologías que favorezcan la conversión de la industria de la caña de azúcar es preciso diseñar una política integral en materia de ciencia y tecnología que tome en consideración la importancia de la aceleración de este proceso de cambio en esta industria y que responda a las necesidades del desarrollo de la economía y en tanto de la sociedad a un corto, medio y largo alcance, orientada a elevar la eficiencia de los procesos que en ella se ejecutan logrando ampliar las exportaciones y sustituir importaciones.

Esto deberá partir de un adecuado accionar colaborativo de la comunidad científica que posibilite la materialización de una política tecnológica que contribuya a reorientar el desarrollo industrial en este sector propiciando la introducción sistemática y de forma adecuada de los resultados obtenidos en los centros de generación del conocimiento mediante los procesos de innovación y transferencia tecnológica a los procesos productivos.

Por tanto, es elemental fomentar el desarrollo de investigaciones que conduzcan a dar soluciones a los principales problemas que enfrenta hoy la industria de la caña de azúcar prestando mayor interés a la diversificación de sus producciones, atendiendo a la importancia que estos poseen en el mercado interno y externo. Se reafirma la importancia de la colaboración internacional basada en la cooperación tecnológica que garantice mediante la transferencia de tecnología y conocimientos entre países del sur, un impacto económico, social, ambiental y político que propician el desarrollo regional equilibrado con vistas a superar la dependencia Norte-Sur que imponen los países desarrollados.

La búsqueda de nuevas soluciones tecnológicas para el desarrollo completo de la agroindustria de la caña de azúcar, necesariamente habrá que considerar los aspectos concernientes a la incertidumbre en el diseño y operación de instalaciones de la industria química y fermentativa.

Se resalta que el empeño por alcanzar mejores resultados, se hace necesario estimular la creatividad de los centros de investigación y producción, que redundan en el buen funcionamiento de la comunidad científica del sector para fortalecer la participación en la búsqueda de soluciones a los problemas de corte tecnológico de sus producciones, prestando especial interés a la formación y capacitación del personal que lleva a cabo esta labor de forma tal que puedan responder y garantizar el desarrollo prospectivo de la industria de la caña de azúcar.

## Referencias

- [1] Concepción Toledo, Diana Niurka Erenio González Suarez, Víctor González Morales, Lázaro Guerrero Fernández. (2013). La organización de la gestión del conocimiento desde el vínculo universidad –empresa. Centro Azúcar, 40, (4). 46-50. Octubre-diciembre, ISSN: 2223-4861. Referenciada en: CITMA, DOAJ, Latindex, Cuba Ciencias, Fuente Académica, Informe Académico. Vol. 40 año 2013.
- [2] Concepción Toledo, D. N., González Suárez, E., García Prado, R.A., Miño Valdés, J.E. (2019) Metodología de la investigación: Origen y construcción de una tesis doctoral. Revista Científica de la UCSA. Vol. 6 Nro 1. Abril de 2019. 76-87Doi: 10.18004/ucsa/2409-8752/2016.003(02)058-067.
- [3] Concepción Toledo, D N., E González Suárez, J E Miño Valdés, Fernando Ramos Miranda, (2020) El postgrado: aspecto clave para los proyectos de desarrollo local en el vínculo universidad – empresa, Universidad y sociedad, Vol. 12, Nro 5 del 2020, 364-369
- [4] Morales Zamora, M., De Armas Martínez, A. C., González Suárez, E., Ley Chong, N., & Villanueva Ramos, G. (2021). La sinergia entre las biorrefinerías de azúcar y el desarrollo de la industria química en Cuba. Revista Universidad y Sociedad, 13(5), 81-91.
- [5] Rabassa Olazábal Glenia, Erenio González Suárez, J. E. Miño Valdés Amaury Pérez Sánchez, Amaury Pérez Martínez. (2016) b Procedimiento para la evaluación de oportunidades de negocio en la industria azucarera. Visión de futuro Año 13, Vol. 20, Nro 2, Julio–diciembre, 2016, pág.153-174
- [6] de Armas-Martínez, A.C.; Morales Zamora, M.; Albernas Carvajal, Y.; González Suárez, E. (2019). “Proyección de una industria azucarera para transformarse en una biorrefinería a partir de biocombustibles de segunda y tercera generación” Revista Tecnología Química, Vol. 39, No. 3, pp. 489-507.
- [7] de Armas Martínez, A. C., González Suárez, E., Kafarov, V. V., Zumalacarregui de Cárdenas, L., Oquendo Ferrer, H., & Ramos Miranda, F. (2021). Procedimiento de evaluar alternativas para transformar instalaciones de la industria de la caña de azúcar en biorrefinerías. Revista Universidad y Sociedad, 13(5), 565-573.
- [8] Gálvez, L.: (1988). Manual de los derivados de la caña de azúcar. ICIDCA-GEPLACEA-PNUD
- [9] González Suárez, Erenio Concepción Toledo, Diana Niurka, Juan E. Miño Valdés. (2018)El valor intangible de las consultorías desde la universidad en el desarrollo de la industria química. Universidad y Sociedad. Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos, ISSN: 2218-3620. Vol. 10, N° 4, Julio Septiembre. pp 97-102.
- [10] Guzmán-Villavicencio. Mayra, Erenio González-Suárez, Marlén Morales-Zamora (2019) Metodología para Gestionar la Innovación Tecnológica con Integración del Análisis Complejo de Proceso en la Industria Ronera Cubana. Revista Tecnología Química ISSN: 2224- 6185 Vol. 39, No. 2, 2019 pp. 370-383
- [11] Guzmán Villavicencio M, Martí Marcelo CA, González Suárez E, Morales Zamora M, et. al. Gestión de la tecnología e innovación y su integración con el análisis de procesos en la Ronera Central. An Acad Cien Cuba [Internet] 2022 [citado en día/mes/año] Vol. 12 (3): e1136. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/1136>.
- [12] Hua-Jiang Huang, Shri Ramaswamy, U.W. Tschirner, B.V. Ramarao, (2008) A review of separation technologies in current and future biorefineries. Separation and Purification Technology 62 1–21
- [13] Rudd, D.F.; C.C. Watson. (1968). Strategy of Process Engineering. McGraw Hill, New York.
- [14] Mesa L. N López Bello; C Cara; Eulogio Castro; E González Suarez Solange Mussatto. (2016) Techno-economic evaluation of strategies based on two steps organosolv pretreatment and enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse for ethanol production. Renewable Energy. 86 270-279. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.105>. 2016.
- [15] Mesa Garriga, L., A C. de Armas Martinez, Y. Martínez Martínez, E. González Suárez (2020) Ethanol production from sugarcane straw using different configurations of fermentation and techno-economical evaluation of the best schemes Renewable Energy. Pág. 377–388.
- [16] Soto Castellón, C., M. Guzmán Villavicencio, C A Martí Marcelo., D N. Concepción Toledo, E González Suárez (2021) Formación de doctores y posdoctorales desde la industria en la perspectiva tecnológica: un intangible de Cubaron S. Universidad y Sociedad V 12, Nro 1, Enero \_Febrero, pp 189-194

- [17] Concepción Toledo Diana N., González Suarez Erenio, Pedraza Gárciga Julio. 2015b. Los proyectos de investigación mediante el vínculo universidad-empresa en la formación continua de ingenieros químicos. Rev. Centro Azúcar, Vol. 43 Nro.3, pag.89-98. ISSN 2223-4861
- [18] González Suárez Erenio, Miño Valdés Juan E., Concepción Toledo Diana N., (2018). El valor intangible de las consultoras desde la universidad en el desarrollo de la industria química. Rev. Científica Universidad y Sociedad. Vol. 10, Nro 4, julio-sept, Cienfuegos (2018), pág.97-102, ISSN 2218-3620.
- [19] Concepción Toledo Diana N., (2015). Estrategia para la preparación en gestión del conocimiento de la comunidad científica de la industria de la caña de azúcar mediante el vínculo universidad-empresa. Tesis en opción al Grado Científico de Doctora en Ciencias de la Educación. Univ. Central de las Villas, Cuba.
- [20] Concepción Toledo Diana N., González Suárez Erenio. (2015a). Formación laboral y proyectos integradores, actualidad y perspectivas en la UCLV. Rev. Islas 57(179): 195-205, mayo-agosto 2015. Editorial Feijoo. ISSN 0047- 1542.

## Cambio del Sistema de Enfriamiento de un Motor Diésel Acoplado a una Bomba de Agua

Neeldes Matos Ramírez<sup>a,\*</sup> , David L. Carballea Cabrera<sup>a</sup> ,  
Isnel Benítez Cortés<sup>a</sup> , Juan Esteban Miño Valdés<sup>b</sup> 

<sup>a</sup> *Facultad de Electromecánica, Universidad de Camagüey (UC), Cuba*

<sup>b</sup> *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Argentina*

e-mails: [neeldes.matos@reduc.edu.cu](mailto:neeldes.matos@reduc.edu.cu), [david.carballea@reduc.edu.cu](mailto:david.carballea@reduc.edu.cu), [isnel.benites@reduc.edu.cu](mailto:isnel.benites@reduc.edu.cu),  
[jemino53@gmail.com](mailto:jemino53@gmail.com)

---

### Resumen

En Camagüey Cuba, 137 estaciones de bombeo de agua de pozo profundo, destinadas al riego de plantaciones de tabaco, no disponen de energía eléctrica distribuida por red rural; por ello se hace necesario que las unidades motrices de las bombas sean motores diésel. Estos motores que se acoplan a las bombas de agua, poseen radiador y ventilador para enfriar el líquido refrigerante del motor. El objetivo de este trabajo fue evaluar la viabilidad técnica y ambiental de cambiar los sistemas de enfriamiento de los motores diésel acoplados a bombas de agua de pozos profundos, por intercambiadores de calor de tubo y coraza. Dentro del intercambiador seleccionado se determinaron las pérdidas de presión del agua caliente procedente del motor y las potencias necesarias para mantener la recirculación, entre otras variables. Se calculó el ahorro de combustible diésel y la disminución de la emisión de CO<sub>2</sub> al medio ambiente para 137 motobombas de agua. Fue viable el cambio del sistema de enfriamiento desde el punto de vista técnico y ambiental.

**Palabras clave:** *Bomba de agua, Sistema de enfriamiento, Intercambiador de calor, Motor diésel.*

---

### Abstract

In Camagüey Cuba, 137 deep well water pumping stations, intended for irrigation of tobacco plantations, do not have electrical energy distributed through the rural network; for this reason, it is necessary that the drive units of the pumps be diesel engines. These engines, which are coupled to water pumps, have a radiator and fan to cool the engine coolant. The objective of this work was to evaluate the technical and environmental feasibility of changing the cooling systems of diesel engines coupled to deep well water pumps, with shell and tube heat exchangers. Within the selected exchanger, the pressure losses of the hot water from the engine and the necessary power to maintain recirculation, among other variables, were determined. The savings in diesel fuel and the reduction in CO<sub>2</sub> emission to the environment were calculated for 137 water pumps. Changing the cooling system was feasible from a technical and environmental point of view.

**Keywords:** *Water pump, Cooling system, Heat exchanger, Diesel engine.*

---

## 1. Introducción

La mayor parte de los recursos energéticos mundiales provienen de la irradiación solar de la tierra, parte de esta energía ha sido almacenada en forma de energía fósil, otra es utilizable en forma directa o indirecta como energía eólica o hidráulica, entre otras [1].

La energía química de los fósiles se libera durante la combustión de ahí que sea inevitable que tenga un fuerte impacto en la atmósfera. La combustión de los combustibles fósiles ha aumentado sustancialmente los problemas de las partículas materiales y ha multiplicado el flujo atmosférico global del azufre de óxidos de azufre y nitrógeno (N), principalmente liberados como SO<sub>2</sub>, NO y NO<sub>2</sub>, hidrocarburos, monóxido (CO) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Estos compuestos se liberan solo mediante el quemado de biomasa o por el propio metabolismo de bacterias, animales y plantas. [2].

Para tener una idea de la cantidad de CO<sub>2</sub> producido por la combustión de los combustibles fósiles:

1 galón de gasolina contiene unos ( 3,78 L ) a una densidad de ( 0,7 g/mL ) y una composición aproximada ( $C_8 H_{18}$ ), producen unos 8 kg  $CO_2$ . La quema de combustibles fósiles libera al año alrededor de  $2,2 \cdot 10^{16}$  g  $CO_2$  (22 mil millones de tn  $CO_2$ ) a la atmósfera en su mayoría proveniente de vehículos de transporte. La mayor parte del  $CO_2$  lo absorben los océanos o lo utilizan las plantas. Con frecuencia los científicos utilizan el término cambio climático en lugar de calentamiento global. Desde la revolución industrial la concentración de  $CO_2$  ha aumentado en la atmósfera 30%, hasta alcanzar actualmente 378 ppm (parte por millón); este incremento fue el responsable del aumento de  $0,3^\circ C$  en la T media global del aire atmosférico, respecto al siglo pasado [3].

Dos aspectos globales hicieron que los combustibles fósiles emergieran durante las 2 últimas décadas del siglo XX: el cambio climático global y la interferencia en el ciclo del Nitrógeno. Durante la década del 80, después de 1 siglo de estudios del calentamiento antropogénico global, llegó a quedar patente que las emisiones de los gases de efecto invernadero, dominado en ese momento por el ( $CO_2$ ), había llegado a ser un factor decisivo en el cambio climático global. Las consecuencias fueron que: un aumento geométrico del ( $CO_2$ ) produjo una casi aritmética subida de la temperatura (T) de la superficie terrestre con calentamiento mínimo cerca del ecuador y máximo en las regiones polares, con un menor calentamiento en el hemisferio sur [2].

En la actualidad el consumo de combustible de los motores de combustión interna (MCI) a partir de derivados del petróleo, tiene una vital importancia teniendo en cuenta el alto costo de los mismos, así como el progresivo agotamiento de las reservas [4].

El impacto ambiental de los motores de combustión interna están estrechamente relacionados con un problema social surgido por la utilización creciente de los mismos, la reducción de los niveles de emisión de sustancias tóxicas y de los llamados gases de invernadero, y la reducción de los niveles de ruido (contaminación física). En los foros internacionales acerca de las causas e implicaciones para la humanidad del llamado efecto invernadero, se discute con fuerza la necesidad de un enfoque integral en el tratamiento de los problemas ambientales y del desarrollo, así como la necesidad de una acción concertada de la comunidad internacional para mitigar los efectos del calentamiento global provocado por las crecientes emisiones a la atmósfera de gases tales como el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), entre otros [5].

En la Empresa Acueducto Alcantarillado de Camagüey, una de las producciones fundamentales de las que aportan mayores ingresos a la misma son las motobombas. Estas son bombas centrífugas horizontales y verticales de pozo profundo acopladas a motores diésel, las cuales se montan en estaciones de bombeo de agua para la agricultura, la mayoría de ellas para riego de plantaciones de tabaco. En varias de las estaciones de bombeo, no hay energía eléctrica, por lo que se hace necesario que las unidades motrices de estas bombas sean motores diésel. Los motores a los cuales se acoplan estas bombas son de la marca Iveco-Aifo, de procedencia española. Se evaluaron 4 modelos de bombas con potencias diferentes, ver Tabla 1. Estos motores importados con todos sus agregados para el funcionamiento estacionario, tienen radiador y ventilador para el enfriamiento del agua, líquido refrigerante del motor [7].

El objetivo de este trabajo fue evaluar la viabilidad técnica y ambiental de cambiar los sistemas de enfriamiento de los motores diésel acoplados a bombas de agua de pozos profundos, por intercambiadores de calor de tubo y coraza.

## 2. Materiales y Métodos

Los sistemas de bombeo motorizados, ver Fig.1, funcionan sin la intervención humana y tienen 3 partes principales: un motor que proporciona la potencia necesaria para el bombeo, un árbol de transmisión que transfiere dicha potencia a una bomba de agua, que utiliza esta potencia para transmitirla al agua de pozo y extraerla.



**Fig. 1. Motores diésel con ventilador y radiador para enfriamiento, acoplado a una bomba de agua.**

Las bombas motorizadas son de uso común desde hace varias décadas, sobre todo en las zonas urbanas, donde los caudales de agua bombeada no podrían alcanzarse con bombas manuales, también en zonas rurales para el riego e intervenciones de emergencia.

Estas bombas son de tipo centrífugo, y pertenecen a la familia de las turbo bombas.

En la Tabla 1, se presentan los modelos de bombas de agua y motores diésel acoplados, que con mayor frecuencia han sido solicitados para riego, con sus datos técnicos en el punto de máxima eficiencia.

**Tabla 1. Datos técnicos de bombas de agua y motores diésel acoplados. [05] y [06]**

Nro.	Modelo de bomba	Caudal en (L/s)	Columna de agua (m)	Potencia absorbida (CV)	<sup>1</sup> rpm en (min <sup>-1</sup> )	Modelo del motor acoplado
1	P09C/6/30/A5	30	76	39,0	2.000	8031 i 05
2	P10C/6/30/A5	50	72	60,5	2.000	8041 i 05
3	P10C/6/35/A7	50	101	84,5	2.000	8061 i 25
4	P12C/7/35/A4	75	77	98,5	1.740	8061Si 25

<sup>1</sup>rpm = revoluciones por minuto

Los motores relacionados se han importado con todos sus agregados para funcionamiento estacionario, lo que incluye, al radiador y su ventilador para el enfriamiento del líquido refrigerante del motor. Para estos acoplamientos de motor y bomba, fueron seleccionados y calculados los intercambiadores de calor en sustitución de los radiadores y los ventiladores que normalmente se han adquirido con los motores.



Aun no se tiene la potencia exacta que consumen los ventiladores de los referidos motores Iveco-Aifo, pero si se dispone de datos de motores similares de otro fabricante, cuyas potencias son del mismo orden. En la Tabla 2 se brindan los datos técnicos de motores diésel de la firma “Dorman”.

**Tabla 2. Datos técnicos de los motores diésel Dorman Serie L [08].**

Motores diésel “Dorman” Serie L Modelos	Potencia continua nominal del motor (kW)	Caudal de aire del ventilador (m <sup>3</sup> /min)	Potencia ventilador del radiador (kW)	1500 rpm		
				Potencia continua nominal del motor (kW)	Caudal de aire del ventilador (m <sup>3</sup> /min)	Potencia ventilador del radiador (kW)
				1800 rpm		
2LB	25,0	104,9	1,04	28,3	133,8	1,64
3LB	38,0	140,8	1,49	43,7	162,4	2,69
4LB	50,9	140,8	1,49	57,8	162,4	2,69
5LB	64,2	230,4	3,28	72,4	271,2	5,74
6LB	77,6	286,2	5,22	88,0	340,0	8,36
6LC	92,1	286,2	5,22	103,0	340,0	8,36
8LB	103,0	286,2	5,22	116,4	340,0	8,36

Como se puede ver en la Tabla 2, con el modelo 8LB a 1800 rpm, la potencia del ventilador del radiador es de (8,36 kW), y puede llegar hasta el 7,1% de la potencia continua nominal del motor de (116,4 kW).

Tomando como ejemplo el motor de mayor potencia de los que se está analizando el Modelo 8061Si25 (Tabla 1), cuya potencia es similar a la mayor de los modelos de Dorman (Tabla 2), y asumiendo que la potencia que tome su ventilador (8,36 kW) sea similar a la del modelo 8LB, el consumo específico de diésel por este concepto a 1800 rpm es de 206 (g<sub>diésel</sub>/kW h) [07].

$$\text{Consumo (kg}_{\text{diésel}}/\text{hora)} = (8,36 \text{ kW}) (206 \text{ g}_{\text{diésel}}/\text{kW h}) (1\text{kg}_{\text{diésel}}/10^3\text{g}_{\text{diésel}}) = 1,722 \text{ kg}_{\text{diésel}}/\text{h} \quad (1)$$

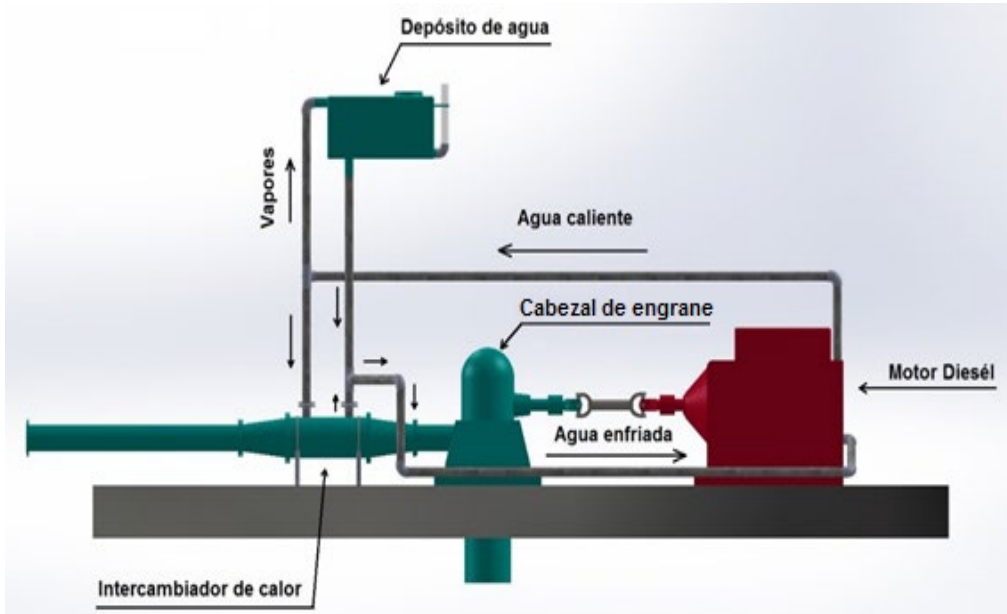
Si se considera que en una campaña tabacalera una motobomba funciona unas 1000 horas, entonces el ventilador de un solo motor puede llegar a consumir hasta 1.722 kg<sub>diésel</sub> (1,722 Tn<sub>diésel</sub>) en cada campaña. Tomando en cuenta que en el período de tiempo de esta investigación , funcionaban 137 motobombas de este tipo, el consumo sería de unas 235,64 tn<sub>diésel</sub> en cada campaña solo en una empresa tabacalera.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Sistema de enfriamiento elegido para la motobomba.

En el esquema de la Fig. 2, se muestra la motobomba y el intercambiador de calor elegido.





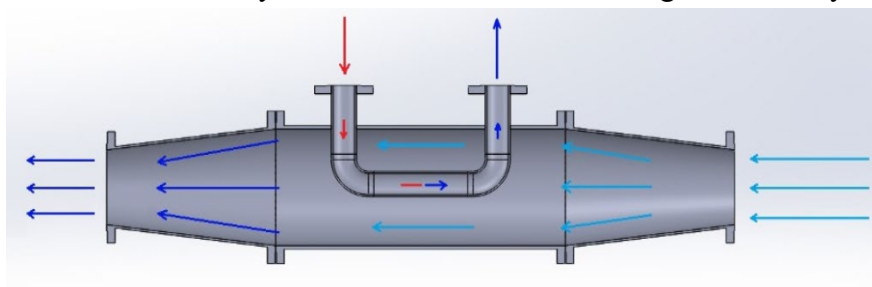
**Fig. 2. Esquema resumido: motobomba e intercambiador de calor de tubo y coraza. Partes y funciones:**

1. Motor diésel: el encargado de generar el movimiento de rotación.
2. Transmisor: transmite el movimiento del motor a la bomba.
3. Cabezal de engrane: transmite movimiento del eje horiz. del motor al eje vertical de la bomba a una relación de 1x1.
4. Bomba vertical: bombea el agua procedente del pozo profundo.
5. Intercambiador de calor de tubo y coraza: es donde se realiza el enfriamiento del agua del motor
6. Depósito de agua: se acumula el agua proveniente de los vapores.
7. Tubos, codos y coraza (tubo de mayor diámetro), por donde circula el agua.

### 3.2. Sistema de enfriamiento seleccionado para los motores diésel empleados en las motobombas.

Como resultado de la revisión bibliográfica se constató que el tipo de intercambiador más adecuado a las condiciones y los requerimientos es el de tubo y coraza con flujo de agua a contracorriente.

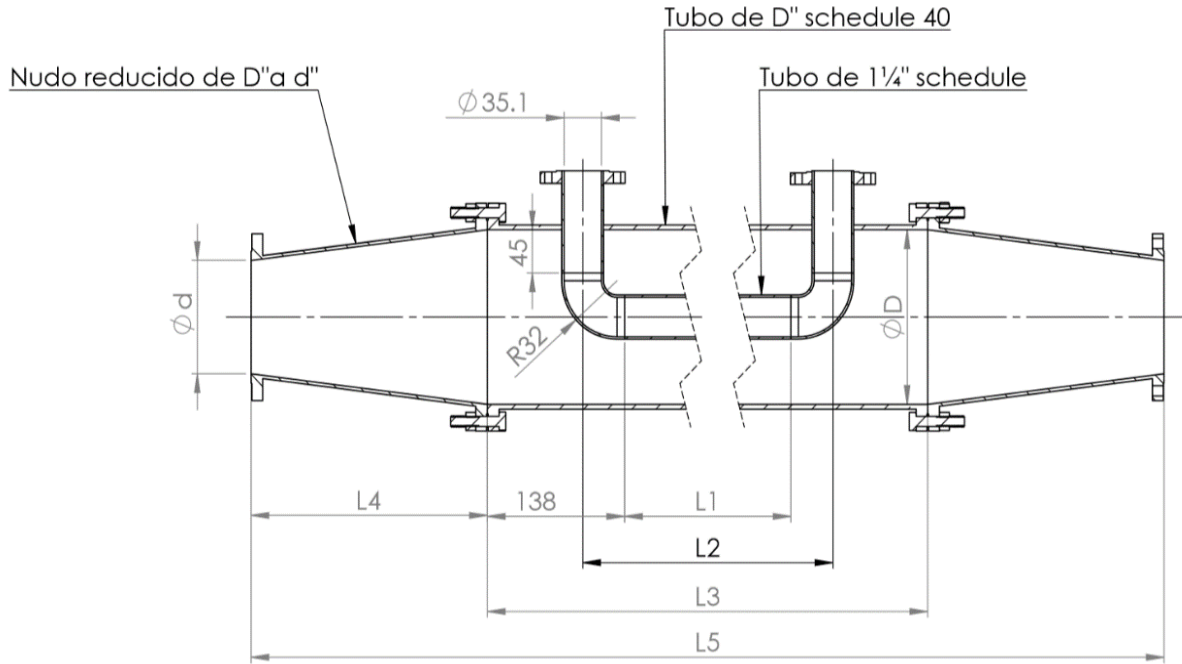
En la Fig. 3 se muestra el sentido y dirección de circulación del agua en tubos y coraza.



**Fig. 3. Flujo de agua en el interior del tubo y la coraza del intercambiador de calor.**

- ▶ Flujo de agua caliente procedente del motor.
- ▶ Flujo de agua a la salida del intercambiador.
- ▶ Flujo de agua fría a la salida de la bomba.

Como se muestra en la Fig. 4, se visualiza las principales dimensiones del intercambiador de calor (agua/agua), para motobombas de pozos profundos, ver Tabla 3.



**Fig. 4. Dimensiones del tubo y la coraza del intercambiador de calor (agua/agua), para motobombas de pozos profundos (D, d y L en mm).**

**Tabla 3. Dimensiones del intercambiador de calor de tubo y coraza (en mm)**

Nro	Modelos de motor - bomba	D	d	D <sub>int</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>
1	8031 i 05 – P09C/6/30/A5	152.4	152.4	154	100	164	376		1175
2	8041 i 05 - P10C/6/30/A5				200	264	476		934
3	8061 i 25 - P10C/6/35/A7	203.2			450	514	726	229	1184
4	8061 Si 25 - P12C/7/35/A4		203.2	202.7	670	734	946		946

Para el cálculo de los intercambiadores se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

Todos los modelos se calcularon para la potencia continua máxima que es capaz de entregar cada modelo de motor, a pesar de que las velocidades nominales de las bombas son menores y, por tanto, las potencias que entregan los motores correspondientes son menores también.

Se procuró, antes todo, la sencillez del diseño y la factibilidad tecnológica, para ser construido en los talleres de la Empresa Acueducto Alcantarillado de Camagüey (Cuba).

Para los cálculos se consideraron regímenes estacionarios de transmisión de calor.

Se despreciaron las pérdidas de calor por radiación en las superficies del intercambiador.

Se despreciaron también las pérdidas de calor por convección natural en el exterior de las tuberías que conducen el agua caliente desde el motor hasta el intercambiador.

Se procuró un diseño interior del intercambiador que ocasione una pérdida de presión mínima al agua procedente del pozo, por lo que se eligió el intercambiador del tipo: de tubos coaxiales.

El proceso de intercambio de calor se consideró a presión constante (presión atmosférica), puesto que el depósito para el agua del motor se encuentra abierto a través de un respiradero en su tapa.

Para la realización de este cálculo se utilizó el Mathcad el cual es una herramienta de estándar industrial pensada para los cálculos técnicos de ingenieros de todo el mundo [8].

Se utilizó una secuencia de cálculo del software para este fin. Empleando procedimientos idénticos se calcularon los otros 4 intercambiadores para igual número de motores y bombas. Esto permite realizar los cálculos con más facilidad y para no hacer extremadamente extenso este trabajo innecesariamente. En la Tabla 4 se muestran, los cálculos de cada entrada.

**Tabla 4. Datos de entrada de los modelos de motor y bomba**

Nro	Modelos de motor - bomba	Potencia continua nominal máxima (kW)	Calor cedido por el motor al agua de enfriamiento (kJ/s)	Gasto volumétrico de la bomba del motor (m <sup>3</sup> /h)	Gasto volumétrico de la bomba del motor (L/s)
1	8031 i 05 - P09C/6/30/A5	38	29.2	11	30
2	8041 i 05 - P10C/6/30/A5	50.5	38.5	10.5	50
3	8061 i 25 - P10C/6/35/A7	76	56.6	10	50
4	8061 Si 25 - P12C/7/35/A4	98	70.0	10	75

Para los intercambiadores calculados y diseñados también se determinaron las pérdidas de presión que sufre el agua caliente procedente del motor dentro del intercambiador y las potencias necesarias para mantener la recirculación. Asimismo, se calculó para cada caso la pérdida de presión que ocasiona el intercambiador al agua procedente del pozo y la potencia que se pierde en el proceso de intercambio de calor.

El cálculo se realiza considerando que el intercambio de calor se lleva a cabo con el agua caliente proveniente del motor circulando por el interior de un tubo de acero Schedule 40. El agua fría procedente del pozo circula por el interior de dicho tubo.

Se han tomado los diámetros del tubo de 1¼ pulgadas (31,75 mm). De la serie estándar según las normas ANSI/ASME B36. 10M-1985 y B31.1-1991 [9].

Entre los diferentes cálculos que se realizaron se destacan la determinación de:

- Densidad del agua a temperatura media y el calor específico del agua a temperatura media.
- El cálculo del incremento de la temperatura del agua a su paso por el interior del motor.
- Cálculo de la velocidad del agua caliente por dentro del tubo de 1¼ pulgadas.
- Cálculo del Nro. de Reynolds para el agua caliente dentro del conducto de 1¼ pulg.
- Cálculo del coeficiente de transmisión del calor por convección en el interior del tubo.
- Cálculo del Nro. de Reynolds del fluido de agua fría por el exterior del tubo de agua caliente.
- Cálculo del coef. de transmisión del calor por convección en el exterior del tubo de 1¼ pulg.
- Determinación de la superficie de intercambio necesaria y el cálculo del flujo calórico.
- Determinación de la resistencia total y la cantidad de calor que se intercambia.
- Cálculo de las pérdidas de presión y de potencia que ocasiona el intercambiador en el agua caliente del motor y en el agua fría procedente del pozo. Eficiencia de la bomba en el pozo.

Del resultado de los cálculos realizados se llega a la primera conclusión, como puede apreciarse, la pérdida de potencia que ocasiona el intercambiador es muy inferior a la que causa el ventilador del radiador, ver Tablas 5 y 6.

**Tabla 5. Resultados: descenso de temperatura, área de intercambio, diámetro nominal, longitud del tubo**

Nro.	Modelos de motor - bomba	Temperatura de descenso en el intercambiador (°C)	Área de intercambio de calor (m <sup>2</sup> )	Diámetro nominal del tubo de intercambio (mm)	Longitud del tubo recto longitudinal (mm)	Diámetro nominal del tubo mayor (mm)
1	8031 i 05 – P09C/6/30/A5	38	29.2		100	152.4
2	8041 i 05 - P10C/6/30/A5	50.5	38.5	31.75	200	203.2
3	8061 i 25 - P10C/6/35/A7	76	56.6		450	
4	8061Si25 - P12C/7/35/A4	98	70.0		670	

**Tabla 6. Resultados: incremento de temperatura, descenso de presión, potencia**

Nro.	Modelos de motor - bomba	Temperatura incremento en el agua fría (°C)	Presión de descenso en el tubo de agua caliente (Pa)	Presión de descenso en el tubo de agua fría (Pa)	Potencia necesaria para el agua caliente (W)	Potencia de pérdida en el agua del pozo (W)
1	8031 i 05 – P09C/6/30/A5	0.234	4678	9514	28.59	367.8
2	8041 i 05 - P10C/6/30/A5	0.185	4499	9076	26.25	780.7
3	8061 i 25 - P10C/6/35/A7	0.272	4557	9192	25.32	508.6
4	8061Si25 - P12C/7/35/A4	0.224	4942	4942	27.45	969.4

De acuerdo a las mediciones (ver Tabla 6), el incremento de la temperatura del agua fría en el intercambiador de calor, no alcanzó en ninguno de los casos las 3 décimas de grado, por lo tanto el agua de riego no perjudica a las plantaciones que se benefician del mismo.

### 3.3. Ahorro de Combustible

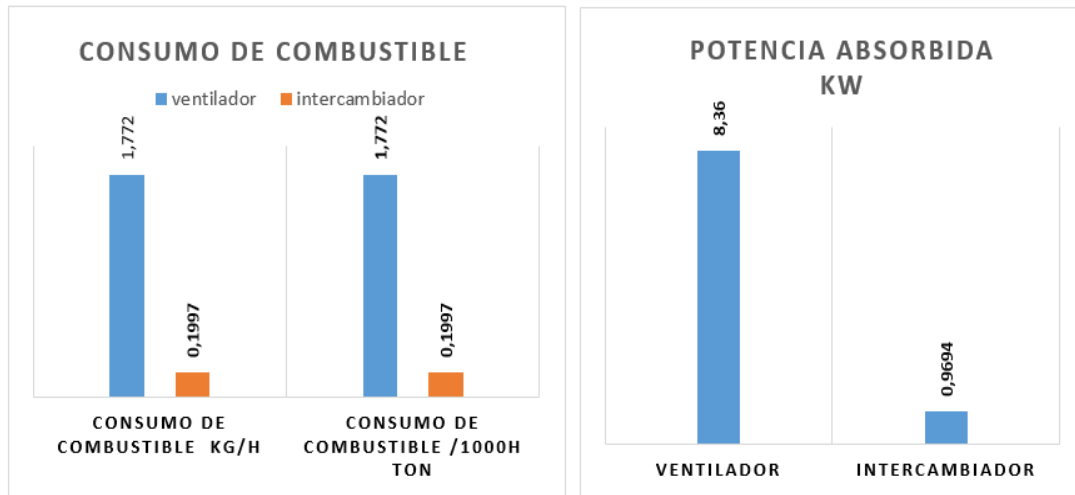
Para el mismo caso que se analizó anteriormente, ahora se determina el ahorro potencial en el consumo de combustible con la sustitución del ventilador y el radiador por el intercambiador de calor, de acuerdo a: [10] y [11]

$$\text{Consumo de 1 intercambiador} = (0,9694 \text{ kW}) (206 \text{ g}_{\text{diésel}}/\text{kW h}) = 199,7 \text{ g}_{\text{diésel}}/\text{h} \tag{2}$$

$$\text{Ahorro con el intercambiador} = (1,772 \text{ kg}_{\text{diésel}}/\text{h}) - (0,1997 \text{ kg}_{\text{diésel}}/\text{h}) = 1,572 \text{ kg}_{\text{diésel}}/\text{h} \tag{3}$$

$$\text{Ahorro para 1.000 horas de explotación} = (1.000 \text{ h}) (1,572 \text{ kg}_{\text{diésel}}/\text{h}) = 1.572 \text{ kg}_{\text{diésel}} \tag{4}$$

Los gráficos de las comparaciones de consumo de potencia y consumo de combustible se muestran en la Fig. 5.



**Fig. 5. Comportamiento del consumo de combustible y potencia absorbida en ventilador e intercambiador**

### 3.4. Emisión de CO<sub>2</sub> (g) a la atmósfera

Teniendo en cuenta que 1 kg<sub>diésel</sub> emite 3,17 gCO<sub>2</sub> (g). [12] y [13]. Con la modificación propuesta para una motobomba:

$$\text{Se dejan de emitir} = (1,572 \text{ kg}_{\text{diésel}}/\text{h}) (3,17 \text{ gCO}_2/\text{kg}_{\text{diésel}}) = 4,983 \text{ gCO}_2/\text{h} \quad (5)$$

$$\text{Para } 1000 \text{ h de explotación} = (10^3 \text{ h}) (4,983 \text{ gCO}_2/\text{h}) (1\text{kg CO}_2/10^3 \text{ gCO}_2) = 4,983 \text{ kgCO}_2 \quad (6)$$

Para una disminución de 1.572 kg<sub>diésel</sub>, se evitó emitir 4,983 kg CO<sub>2</sub> al medio ambiente, para 1 motobomba con 1.000 horas de explotación.

Considerando que hay 137 motobombas funcionando 1000 h c/u.

$$\text{Se evita de emitir a la atm} = (4,983 \text{ kgCO}_2/\text{motobomba})(137_{\text{motobombas}}) = 682,671 \text{ kgCO}_2 \quad (7)$$

Según la OPEP el precio del barril de petróleo en nov23 cotizaba a 73,2 USD/barril [14], si 1 barril de petróleo contiene (entre 119 y 151 kg<sub>petróleo</sub>), que serían unos 159 L<sub>petróleo</sub>, de los cuales pueden generarse entre 73,7 y 82,3 L<sub>diésel</sub> dependiendo de la densidad del petróleo [15]; de aquí la gran importancia que tiene para este país (no petrolero) cualquier ahorro de portadores energéticos.

## 4. Conclusiones

La sustitución del sistema de enfriamiento en los motores de combustión interna generó una reducción de las emisiones de (g) CO<sub>2</sub> al medio ambiente, y un significativo ahorro de combustible diésel.

A partir del nuevo sistema de enfriamiento analizado, se infiere un ahorro de recursos financieros, al no importar con el motor su ventilador y radiador, ya que en su lugar se instalarán intercambiadores de calor de tubo y coraza fabricados en el país.

Por lo expresado, fue viable, desde el punto de vista tecnológico y ambiental, la sustitución de los radiadores y ventiladores en los motores de combustión interna, por un sistema de intercambiador de calor de tubo y coraza, acoplado a cada bomba de agua.




## Referencias

- [1] De Juana José María. *Energías renovables para el desarrollo*. Madrid, España: Editorial Paraninfo, 2013. [Consulta: 15/01/19]. ISBN: 978-84-2287-2864-7. Disponible en:

<https://books.google.com.cu/books?id=NyvcConR-xoC&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22Jos%C3%A9+Mar%C3%ADa+de+Juana+Sard%C3%B3n%22&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjF7OfgxdXiAhXJrFkKHdEiA9EQ6AEIJzAA#v=onepage&q&f=false>

- [2] Gil García Gregorio. *La Energía en cifras Perspectivas globales*. Ediciones técnicas Marcombo. 1ra edición, Alfaomega grupo editor S.A. de C.v., México. ISBN 978-607-707-616-2. Pag.76. Impreso en México (2020).
- [3] Theodore L. Brown, et al. *Química la Ciencia Central*. 12da. edición, Person Educación de México S.A. de C.V. ISBN 978-607-32-2237-2. Pag.762. Impreso en México (2021).
- [4] Schuldt Jürgen y Acosta Alberto. *Petróleo, rentismo y subdesarrollo: ¿una maldición sin solución?* Quito, Ecuador: Centro Andino de Acción Popular (CAAP) y Centro Latinoamericano de Ecología Social (CLAES), 2009. [Consulta: 20/02/19]. Disponible en: <http://extractivismo.com/2009/11/extractivismo-politica-y-sociedad/>
- [5] Guancha L. F., Ocampo E. M., Y Zuluaga A. Solución del problema de ruteo capacitado considerando efectos ambientales mediante una técnica híbrida. *Scientia et technica*, [en línea]. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, 2015, Vol.20 Nro.3.  
[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjaj7el4tXiAhVHuVvKKhD4hBj0QFjAAegQIABAC&url=http%3A%2F%2Fwww.redalyc.org%2Fpdf%2F849%2F84943818002.pdf&usq=AOv Vaw0t\\_1ridkhD1CGM29rN05\\_](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjaj7el4tXiAhVHuVvKKhD4hBj0QFjAAegQIABAC&url=http%3A%2F%2Fwww.redalyc.org%2Fpdf%2F849%2F84943818002.pdf&usq=AOv Vaw0t_1ridkhD1CGM29rN05_)
- [6] Alonso Marianela. *Gestión de riesgos en los procesos de la Oficina Nacional para el Uso Racional de la Energía, Sucursal Villa Clara*. Tesis Doctoral inédita. Universidad Central " Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, 2016.
- [7] Gülich, J.F. *Bombas Centrífugas*. Berlín, Alemania: Ed Leipzig, 2008.
- [8] Maxfield, Brent. *Essential PTC® Mathcad Prime® 3.0: A guide for new and current users*. [PDF]. EE. UU: Academic Press, 2013. ISBN: 978-0-12-410410-5.
- [9] Flowserve. *Cameron Hydraulic Data*. Canadá: Edited by C.C. Heald, 2002.
- [10] Krasnosluokov E. A. Y Sukomiel A. S. *Problemas de Termo transferencia*. Moscú, Rusia: Editorial Mir, 1997.
- [11] Herrera O. y Blanco A. *Equipos de Transferencia de Calor*. La Habana, Cuba: Editorial Ediciones (IPSJAE), 1985.
- [12] Perry R. Y Chilton C. *Chemical Engineers' Handbook*. Tomo 2. La Habana, Cuba: Editorial Revolucionaria, 1979.
- [13] <https://connectedfleet.michelin.com/es/blog/calcular-emisiones-de-co2>. Consulta: 12/11/2023.
- [14] <https://www.bing.com/search?q=precio+del+barril+hoy&FORM=LGWQS1>. Consulta: 12/10/2023.
- [15] <https://www.bing.com/search?q=de+1+barril+de+petr%C3%B3leo+cuantos+litros+de+diesel+ puedo+ obtener &q=de+1+barril+de+petr%C3%B3leo+cuantos+litros+de+diesel+puedo+obtener &sc=10-62&sk=&cvid=5C05AF97F39F4DAAA1C70115EE7FE622 &ghsh=0&ghacc=0&ghpl=&showconv=1>. Consulta: 12/10/2023

## Información Tecnológica Para Desarrollar una Campana Extractora de Cocina

Rodolfo Saúl Cohen<sup>a,d,\*</sup> , Mario José Mantulak<sup>b,d</sup> , Juan Esteban Miño Valdés<sup>c,d</sup> 

<sup>a</sup> Dpto. de Ing. Industrial, <sup>b</sup> Laboratorio de Gestión Tecnológica y Estadística Aplicada, <sup>c</sup> Dpto. de Física  
<sup>d</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Argentina.

e-mails: saulcohen@fio.unam.edu.ar, mantulak@fio.unam.edu.ar, jemino53@gmail.com

---

### Resumen

El objetivo de este trabajo fue obtener información tecnológica para desarrollar una campana extractora de cocina, en una empresa metalmeccánica de Misiones (Argentina). Para conocer la demanda de los clientes, respecto de requerimientos, necesidades y valoración del producto, se aplicó investigación de mercado y herramientas como la Función Calidad de Valor, Agilidad Organizacional, Enfoque Lean Toyota y el Ciclo Deming: planear, hacer, verificar y actuar (PHVA); además de las Normas de Calidad y Ambiental: ISO 9001:2015 e ISO 14001:2015, respectivamente. Desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo, se enumeró y valorizó la calidad de cada parámetro de las demandas del cliente y las características del producto con sus servicios técnicos. Se obtuvo la información tecnológica buscada para el desarrollo de la campana extractora de cocina.

**Palabras Clave:** *Desarrollo, Extractor de cocina, Información Tecnológica.*

---

### Abstract

The objective of this work was to obtain technological information to develop a kitchen extractor hood in a metalworking company in Misiones (Argentina). To understand customer demand regarding requirements, needs and product evaluation, market research and tools such as the Value Quality Function, Organizational Agility, Toyota Lean Approach and the Deming Cycle: plan, do, check and act (PHVA) were applied; in addition to the Quality and Environmental Standards: ISO 9001:2015 and ISO 14001:2015, respectively. From a quantitative and qualitative point of view, the quality of each parameter of the customer demands and the characteristics of the product with its technical services were listed and valued. The technological information sought for the development of the kitchen extractor hood was obtained.

**Keywords:** *Development, Kitchen Extractor, Technological Information.*

---

## 1. Introducción

La Agilidad Organizacional se entiende como la capacidad de entregar resultados continuos a través de los productos y servicios brindados al cliente, y la habilidad de mantenerse aprendiendo, cambiando y reinventándose, de manera que esos resultados sean sostenibles. Los proyectos de desarrollo son flexibles y se subdividen en otros más pequeños, incluyendo comunicación constante con el cliente, son altamente colaborativos y se adaptan mejor a los cambios [1]. Otra de las características del concepto de agilidad es la participación activa del cliente, simplicidad, equipos de desarrollo motivados y auto organizados, comunicación efectiva, auto inspecciones, y adaptación rápida a posibles cambios tecnológicos, innovaciones en el proceso y en el producto [2].

Las empresas y organizaciones, desde su creación, diseñan y definen su forma de medición, implementan sus sistemas de trabajo, su desempeño y empiezan a solucionar problemas; a esto llamamos ciclos de mejora y adecuación para el control [3]. En este contexto las empresas que no se actualizan y siguen administrándose como en el pasado, están poco a poco desapareciendo del mercado; estas se caracterizan por ser lentas para entregar sus productos o servicios, con calidad

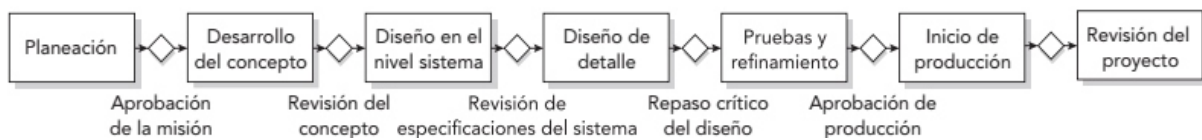


inconsistente, constantes quejas y rechazos de clientes, precios altos, costos elevados y comunicación interna/externa deficientes, entre otras causas [4].

La investigación de mercado y producto, entre otras, identifican las necesidades de los clientes, las oportunidades de innovar y desarrollar productos; también se ocupa de la comunicación entre la empresa y sus clientes, establece los precios, los canales de comercialización, y del lanzamiento y promoción del producto por lo cual se aplican estos conceptos en conjunto con el plan de Marketing, análisis de los canales de distribución y logística inversa con diseño de los servicios de post venta [5].

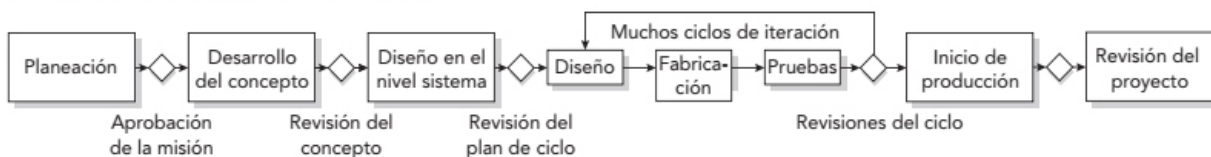
El desarrollo de un producto es un proceso que describe, un conjunto de disciplinas en él que se destacan la concurrencia del diseño, el marketing y la manufactura, junto con otras funciones de negocios [6]. El desarrollo de un producto se presenta de 3 formas diferentes es:

- *Genérico*: la Fig. 1 describe el proceso empleado para desarrollar productos influenciados por el mercado, impulsados por tecnología, de plataforma, de proceso intensivo, personalizados y de alto riesgo. Cada una de las fases (o etapas) de desarrollo del producto es seguida por una revisión (o paso de control) para confirmar que la fase se ha completado y para determinar si el proyecto continúa.



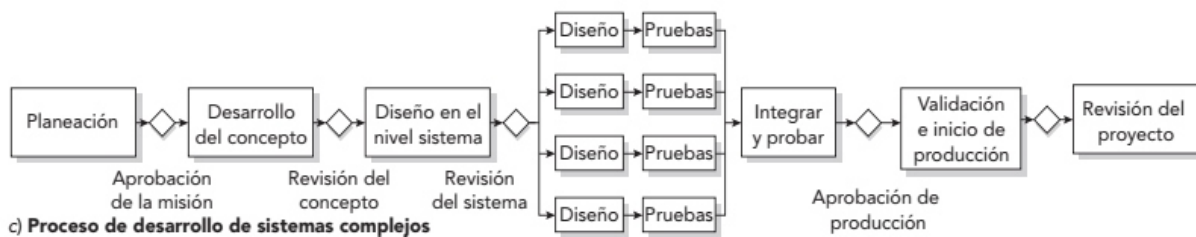
**Fig. 1. Proceso genérico de desarrollo del producto [06].**

- *En espiral*: los productos de rápida elaboración hacen posible un proceso de desarrollo del producto en espiral. Conforme al cual las actividades de diseño de detalles, construcción de prototipos y pruebas se repiten varias veces. Es uno de los casos más utilizados en el sector metalmeccánico, donde se hacen correcciones a pedido del cliente. Ver Fig. 2.



**Fig. 2. Proceso de desarrollo del producto en espiral [6].**

- *En sistemas complejos*: el diagrama de flujo de la Fig. 3, muestra el desglose en etapas paralelas de trabajo de los muchos subsistemas y componentes.



**Fig. 3. Proceso de desarrollo del producto de sistemas complejos [6].**

Una vez que el proceso de desarrollo del producto se establece dentro de una empresa el diagrama de flujo de proceso se emplea para explicar a todos los miembros del equipo [7].

Se define a Lean Manufacturing, como la persecución de una mejora del sistema de fabricación mediante la eliminación del desperdicio o muda de aquellas acciones que no aportan valor al producto y por las cuales el cliente no está dispuesto a pagar [8]; también se define como una filosofía de trabajo basada en las personas, que buscan la forma de mejorar y optimizar un sistema de producción, focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de “desperdicios”, que se observan en la producción: sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento y defectos [9].

El análisis de valor, consiste en un esfuerzo sistemático para reducir el costo o mejorar el desempeño de los productos o servicios, ya sea comprados o producidos. Entre sus ventajas figuran la reducción de los costos operativos (producción, materiales y distribución); mejora en los márgenes de utilidad y un incremento en la satisfacción del cliente. Puesto que los equipos integrados por los distintos procesos de la empresa: estratégicos, de producción y de apoyo (definidos en el mapa de procesos) como de sus principales proveedores, desempeñan un papel clave en el análisis de valor, otro beneficio es que eleva la moral de los empleados [10] y [11].

La industria metalmecánica en la provincia de Misiones (Argentina), se encuentra en pleno crecimiento, debido a su gran flexibilidad para ofrecer nuevos servicios y productos, con la ayuda de sectores complementarios. Hoy se cuenta con una Cámara Misionera de Industriales Metalúrgicos (CAMIM), la cual se ha constituido en un ámbito que potencia la industria local y provincial, trabajando en conjunto con: el Ministerio de Industria de Misiones, los Municipios, y el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). A nivel regional, se encuentran en desarrollo varios clústeres metalúrgicos conformados por empresas, academias y estado, con el fin de crear sinergias para el aumento de la competitividad del sector [1].

Teniendo en cuenta los conceptos planteados para el desarrollo de un producto metalúrgico, el objetivo de este trabajo fue obtener información tecnológica para desarrollar una campana extractora de cocina familiar, para una empresa metalmecánica de Misiones (Argentina).

## 2. Materiales y Métodos

El material en estudio fue la campana extractora de humos y olores para cocinas de viviendas familiares, que planea fabricar Aire S.A., (una Pymes del sector metal mecánica, domiciliada en Posadas, Misiones, Arg.). Actualmente fabrica carteles, piezas y componentes metálicos, además realiza montajes de conductos en chapa galvanizada, para instalaciones de aire acondicionado y ventilación industrial.

La investigación se planteó en forma de encuesta, del tipo online (con Google forms), por tratarse del instrumento de medición más utilizado comúnmente y porque ofrece mayor flexibilidad a la hora de contestar el cuestionario.

Posadas fue elegida principalmente como población de clientes potenciales para estudio.

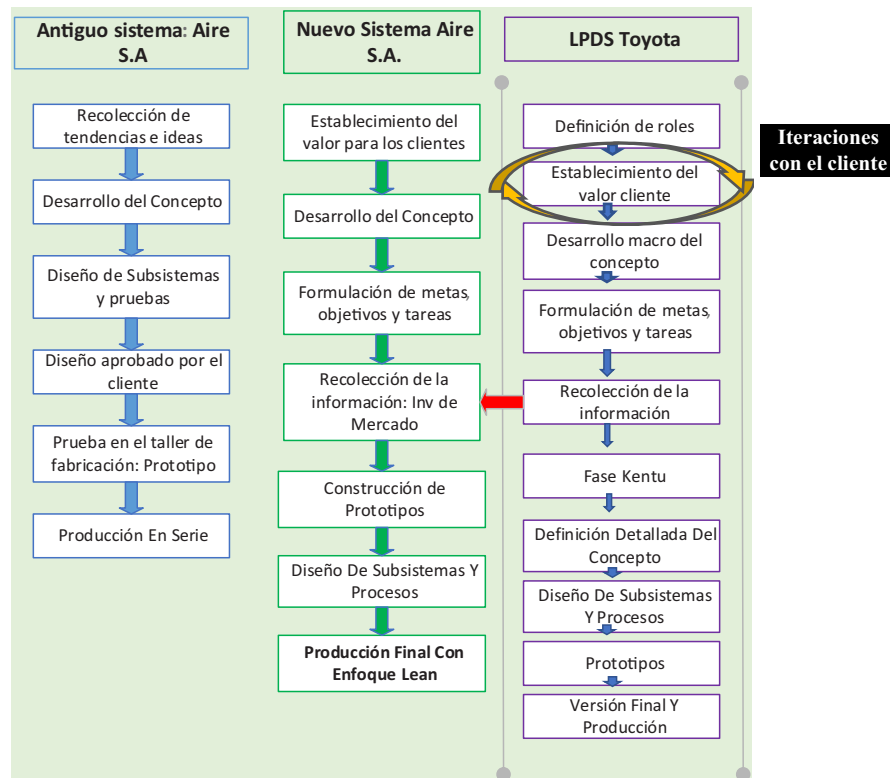
Se aplicó muestreo aleatorio estratificado, específicamente bajo la técnica de asignación proporcional. Para una población finita y un índice de confianza ( $ic$ ) = 95%, e l tamaño de la muestra, debería ser de 399 encuestas. Por cuestiones económicas y de tiempo, la población encuestada fue de  $m = 77$ ; por lo tanto, recalculando el error muestral ( $e$ ) se obtuvo:  $e = 11,4\%$ , siendo un valor aceptable considerando que se trata de un trabajo académico de campo.

Las metodologías de desarrollo del producto usado en este trabajo fueron: el Sistema Lean Toyota (LPDS) y el Ciclo Deming (PHVA). A continuación, se explican sus ventajas.

Lean Toyota o Lean Product Development System (LPDS) o LPDS Toyota[12] y [13], se aplicó este nuevo sistema de desarrollo a la campaña extractora. Sus ventajas y características se presentan en las siguientes etapas: (ver Fig. 4).

*i. Establecimiento del valor para los clientes*

El ingeniero jefe y el proyectista/diseñador industrial establecen lo que el cliente define como valioso mediante: información de campo, investigación de mercados, análisis de la competencia, entrevistas con personas del mercado objetivo, uso de productos similares y características del estilo de vida del mercado objetivo.



**Fig. 4. Procesos de desarrollo de la campaña extractora. Sistemas: Antiguo, Nuevo y LPDS Toyota [12] y [13].**

*ii. Desarrollo del concepto del producto*

El Ingeniero Jefe del proyecto con los representantes de todos los dptos involucrados, el diseñador industrial, el jefe de producción de recursos humanos, administrativos, vendedores, técnicos e instaladores, todos juntos definen la visión global en un documento.

*iii. Formulación de metas, objetivos y tareas*

El Ingeniero en jefe y la alta gerencia, definen las metas y objetivos globales de desempeño del nuevo producto y asigna tareas a los demás participantes del desarrollo, que fueron enumerados en la etapa anterior.

*iv. Recolección de información*

El diseñador industrial y proyectistas en conjunto con los proveedores de la campaña extractora recolectan y analizan la información que requieren para llevar a cabo sus labores e inician la etapa de estudio empleando el análisis de diversas alternativas de manera simultánea.

v. *Diseño de los subsistemas y procesos*

Paralelamente al diseño de subsistemas se realiza el diseño de los procesos de manufactura y venta, liderado por el Ingeniero en jefe y realizado con los proveedores. También se realiza un análisis global de ciclo de vida del producto.

vi. *Construcción de los prototipos*

El diseñador industrial, el proyectista y el Ingeniero en jefe realizan prototipos integrando los subsistemas y probando los procesos de manufactura y venta de manera que esté todo listo para atender a los clientes.

vii. *Producción final con enfoque Lean*

Los prototipos finales se exhiben en un lugar de reunión que se conecta a la página web de la empresa y se replica el producto en los distintos puntos de venta. A partir de este momento se produce lo que los clientes soliciten dentro de los modelos que puede desarrollar la empresa y se empieza a trabajar en nuevos modelos. La implementación de Lean para desarrollo de productos integra a otros sistemas como ser: las Normas de Calidad y Ambiental ISO 9001:2015 e ISO 14001:2015, respectivamente.

El Ciclo Deming: planear, hacer, verificar, actuar (PHVA), también fue utilizado en este trabajo, ver la Tabla 1.

**Tabla 1. Ciclo Deming (PHVA): nuevo proceso de desarrollo [13] y [14].**

	<b>PLANEAR</b>	<b>HACER</b>	<b>VERIFICAR</b>	<b>ACTUAR</b>	
	Políticas	Planeación	Implementar y operar	Analizar desempeño	Mejorar
-Principios	* <i>Alcance</i>	- <i>Procesos y documentos</i>	-Manejo de los recursos	- Revisión por la dirección.	
-Aspectos claves del sistema.	* <i>Identificación de requerimientos legales, de las partes interesadas.</i>	- <i>Afiliación</i>	Control de la operación.	-Acción correctiva, preventiva y de mejora.	
-Política de compra de los componentes.	* <i>Mapa de valor actual y futuro.</i>	- <i>Venta</i>	-Monitoreo y medición de metas, objetivos, requisitos legales y otros.	-Sistema de acción Integral.	
-Pautas de diseño.	* <i>Objetivos.</i>	- <i>Atención</i>	-Indicadores clave.		
-Tipos de diseño y distribución del tiempo.	* <i>Identificación y evaluación de aspectos, impactos y riesgos.</i>	- <i>Cálculo precio de venta</i>	-Evaluación del cumplimiento.		
-Pautas para manejo de imprevistos.	* <i>Estructura: eventos de integración, subsistema, sistema del ing. jefe.</i>	- <i>Documentación técnica</i>	-Auditoría interna.		
	* <i>Ciclo de vida del producto</i>	- <i>Compras</i>	-Manejo de no conformidades.		
	* <i>Roles</i>	- <i>Producción</i>			
	* <i>responsabilidad y autoridad.</i>	- <i>Entrega</i>			
	* <i>Plan contingencia.</i>	- <i>Distribución</i>			
		- <i>Personas.</i>			
		- <i>Estructura.</i>			
		- <i>Competencias y perfiles</i>			
		- <i>Capacitación</i>			
		- <i>Herramientas y tecnol. Comunicación</i>			
		- <i>Aprendizaje organizac.</i>			

El Ciclo Deming se aplicó en este trabajo, porque posee las siguientes ventajas:

- *Disminuye los impactos ambientales:* se utilizó el inventario de ciclo de vida para identificar los principales impactos y sus causas para luego plantear acciones correctivas.
- *Aumenta la capacidad de aprendizaje organizacional:* se mejoró mediante el conocimiento compartido. La persona (interna o externa) que desarrolló la campana extractora lo documentó de forma escrita y videos breves y fundamentó porque hace algo de una determinada manera.

Luego publicó la información en una carpeta compartida en un servicio gratuito de almacenamiento en la nube para que pueda ser usada por los demás miembros del sistema de desarrollo.

- *Mejora de procesos empleando tecnologías de información y comunicación* se realizó una actualización y mejora del análisis organizacional previo, el cual es útil para definir las necesidades tecnológicas y poner valores numéricos a los sistemas de información.

La técnica Función Calidad de Valor (FVD) también se aplicó en este trabajo. De acuerdo a la referencia [09] es una adaptación del despliegue de la Función Calidad (QFD), en la cual se aplican los principios Lean basados en la creación de valor y la reducción de desperdicios, introduciendo una matriz adicional, teniendo en cuenta las demandas de funciones que agreguen valor al producto [15].

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Acerca de las metodologías de desarrollo del producto

Anteriormente, en las metodologías tradicionales para el desarrollo del producto, se concebía un solo proyecto de grandes dimensiones y estructura definida. Se seguía un proceso secuencial o también llamado modelo en cascada en una sola dirección y sin marcha atrás; el proceso era rígido y no cambiaba, los requerimientos eran acordados de una vez y para todo el proyecto. Uno de los grandes problemas de este modelo en cascada era, la imposibilidad de revisar el producto durante el proceso productivo, muy similar a los procesos de desarrollo de productos tradicionales. [16]

En la Fig. 4 (1er. columna), se observó el antiguo sistema usado por la empresa Aire S.A., similar a lo tradicional en el sector de las industrias metalmeccánicas; para aplicar el nuevo sistema de desarrollo de productos con enfoque Lean de la Fig. 4 (2da columna), se observa que la diferencia principal, entre la 1er. y 2da columna, es el hecho de que los productos son producidos en serie y orientados a las necesidades del cliente, después de una adecuada investigación de mercado.

En la Fig. 4 (3er. columna) se presentó **el sistema de desarrollo de producto LPDS Toyota** caracterizado por promover la interacción constante entre las diferentes disciplinas y áreas mediante la coordinación del ingeniero jefe, quien es el directo responsable del desarrollo del producto es quien toma todas las decisiones críticas con respecto a este. Una vez establecida las necesidades de valor y traducidas en requisitos dentro de la organización mediante el nuevo sistema adoptado por la empresa con enfoque Lean, el siguiente paso es pasar al LPDS Toyota donde el mismo se caracteriza por no ser un proceso lineal sino iterativo que detecta y corrige errores más rápidamente, adaptándose a cambios en forma flexible para mantener y superar las expectativas actuales y futuras de los clientes.

Después de la revisión de los diferentes autores, se adoptó como base la nueva metodología de desarrollo de producto Lean Product Development System (LPDS) o LPDS Toyota, ver Fig. 4 (3er. columna), debido a que se incluyen conceptos de ingeniería concurrente (IC) en conjunción con la Función Calidad de Valor (FVD) que prioriza las demandas de los clientes con las características y especificaciones de calidad.

#### 3.2. Necesidades de los clientes y las características funcionales de la campana extractora:

- Total de encuestados = 76 personas.
- Región geográfica encuestada: el 92% son de Misiones y el 8% Corrientes y Chaco



- Tipo de vivienda: el 33,3% habita en una casa grande, el 30,7% en casas pequeñas o dptos y en mono ambiente el 5,3%.
- Intención de compra de la campana extractora: el 46,7% tuvo una respuesta positiva, el 17,3% negativa y el porcentaje restante tal vez adquiriría el producto un 36%.
- Materiales de construcción para la campana extractora: el 81,3% eligió el acero inoxidable seguido de una campana innovadora de vidrio templado con el 14,7% y el resto de chapa esmaltada.
- Las dimensiones de la campana extractora: el 59,2% eligió 600x600x450 (en mm) con un 18,3% optó por (550x500x350 mm), un 12,7% por 350x500x350 (en mm) y el 7% 900x600x500 (en mm) y otras opciones con porcentajes menores.

*Conclusión:* por lo tanto, el material que se utilizará para el diseño y fabricación de las campanas extractoras será el acero inoxidable y las dimensiones las elegirán los clientes.

### 3.3. Funciones adicionales que agregan valor a la campana extractora

- Que mediante control remoto se pueda programar de acuerdo al tipo de comida: el 62,2% acepta la propuesta, un 27,6% contesta tal vez y el restante 9,2% no le interesa.
- En cuanto a la forma de recibir el producto armado o desarmado : el 60,5% quiere recibir totalmente armado, el 7,1% desarmado y al 34,2% le es indistinto: armado o desarmado.
- La función adicional de poder aromatizar la cocina un 7% lo consideran (muy importante), un 36% (importante), un 32% (poco importante) y un 23% (nada importante), por ello esta función adicional se seguirá discutiendo.
- Te interesa que la campana extractora sea flexible y se puede configurar el color con el diseño de la cocina Un 58,1% contesta afirmativamente, un 27,5% tal vez y un 16,2% no le interesa, por lo que podemos comentar que es un punto importante a tener en cuenta para adecuarnos a las necesidades del cliente.
- Te interesa que se brinde servicio de post venta y post consumo Un 80,3% manifiesta una gran aceptación, y al resto no le interesa o tal vez lo considere.
- Prefiere que tenga partes intercambiables, como para poder reparar o realizar un mantenimiento. El 92% manifiesta un gran interés por esta opción en el producto, el resto no.
- Prefiere que tenga servicio de instalación y de entrega del producto sin cargo, como un agregado al producto. Un 85,5% manifiesta un gran interés en el servicio de instalación.

En la Fig. 5, 6, 7 y 8 se presentan los factores principales que influyen en la decisión de comprar una campana extractora.

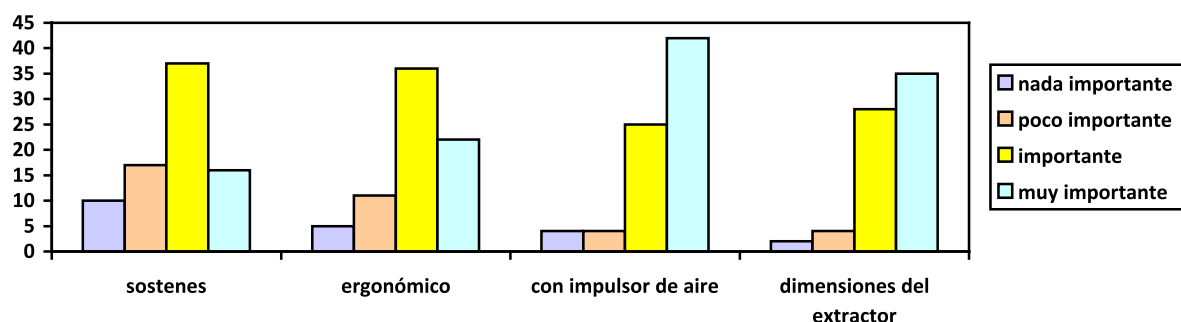


Fig. 5. Evaluación de los factores: sostenes, ergonómico, con impulsor de aire y dimensiones del extractor.



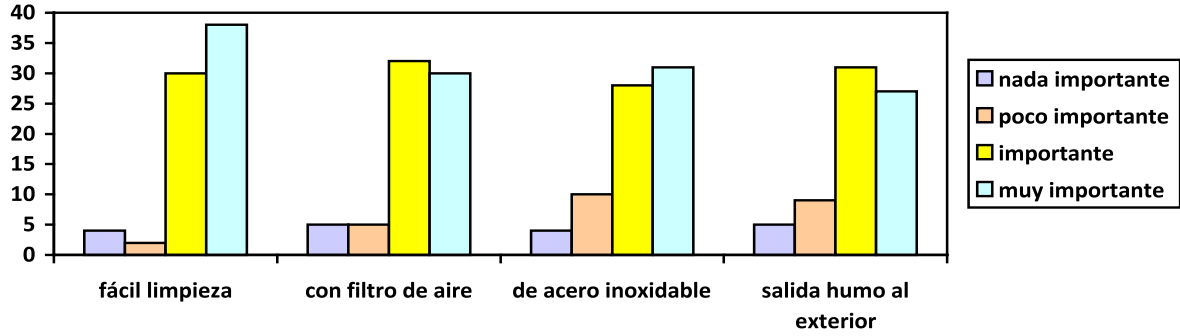


Fig.6. Evaluación de los factores: fácil limpieza, con filtro de aire, de acero inoxidable y salida de humo al exterior.

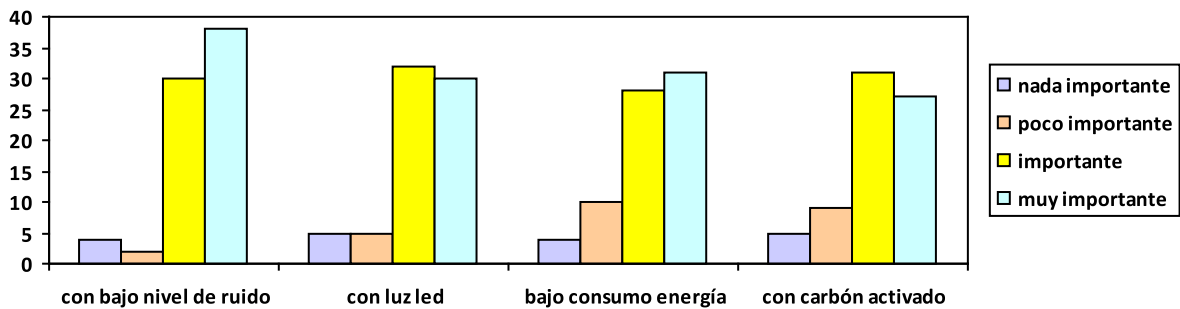


Fig. 7. Evaluación de los factores: ruido bajo nivel, con luz led, bajo consumo energía y con carbón activado.

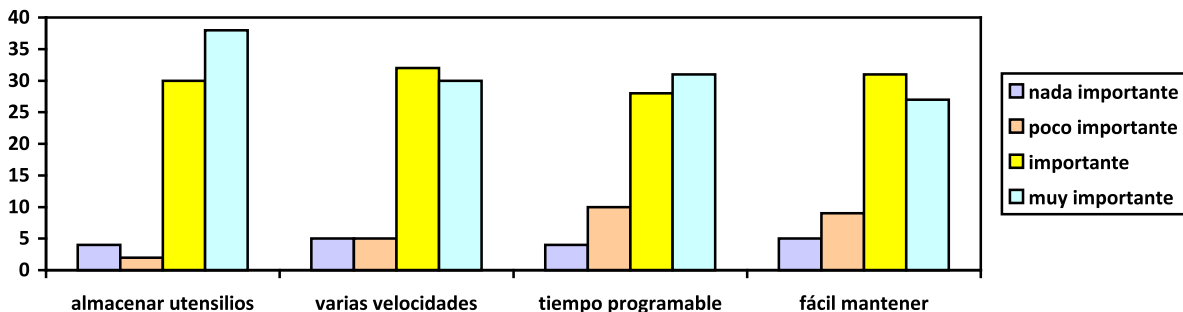


Fig. 8. Evaluación de los factores: almacenar utensilios, varias velocidades, tiempo programable y fácil mantener.

### 3.4. Contraste de hipótesis (univariante)

Según [11] el primer paso consiste en formular la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y la hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>). Una hipótesis nula es un enunciado sobre el status quo sin diferencia o con ningún efecto. Si la hipótesis nula no se rechaza, entonces no se realizan cambios. En una hipótesis alternativa se plantea la expectativa de cierta diferencia o efecto. La aceptación de la hipótesis alternativa llevará a cambios en las opiniones o acciones.

De esta manera, la hipótesis alternativa es opuesta a la hipótesis nula.

La ecuación (1) de [17], plantea para: m = 76 encuestas y nivel de signif. (α) = 1% = 0,01.

$$r_c = m * \left[ p_0 + Z_{1-\alpha} * \sqrt{\frac{p_0 * (1 - p_0)}{m}} \right] + 0,5 \tag{1}$$

Se supone una aproximación Normal, con lo cual Ho se rechaza si:  $r_{nro.de\ exitos} > r_c$

*Contraste de Hipótesis 1*

Hipótesis nula (Ho): menos del 40% de las personas prefiere el producto armado.

Hipótesis alternativa (H1): más del 40 % de las personas prefiere el producto armado.

**Tabla 2. Como desean recibir la campana extractora.**

Respuestas	Frecuencia	% Respuestas
Armado	46	60,5
Desarmado	4	7,1
Indistinto	26	321,4

m = 76 encuestas, nivel de significación = 1%

Al analizar los resultados obtenidos, se aprecia que más del 60,5% de los encuestados coinciden con el formato de entrega del producto armado.

Por lo tanto, se rechaza Ho y se acepta H1, siendo esta, una proporción significativa de la población que eligió esta opción.

*Conclusión:* se establece como formato de entrega: el equipo armado.

*Contraste de Hipótesis 2*

Hipótesis nula (Ho): menos del 40% de las personas le interesa que se brinde servicio de post venta y post consumo.

Hipótesis alternativa (H1): más del 40 % de las personas le interesa que se brinde servicio de post venta y post consumo.

Reemplazando en la ecuación se obtiene:  $r_{nro. \acute{e}xitos} > r_c \rightarrow 61 > 48,65$ .

*Conclusión:* la campana extractora ofrecerá un servicio de post venta y post consumo.

Se realizaron además otros test de Hipótesis sobre funciones adicionales: programación, control remoto y material a utilizar.

*Conclusión:* la campana extractora tendrá las funciones de programación y de control remoto y el material a utilizar en la construcción de la campana será acero inoxidable.

*Tabulación Cruzada (Análisis simultáneo de dos variables)*

El estadístico chi cuadrada (chi) se utiliza para probar la significancia estadística de la asociación observada en una tabulación cruzada. Nos ayuda a determinar si existe una relación sistemática entre las dos variables [10].

La hipótesis nula, Ho, plantea que no hay una asociación entre las variables.

*Contraste de Hipótesis 3*

Hipótesis nula Ho: No hay relación entre el interés de compra y la función de control remoto y de programación de funciones de la campana extractora.

Hipótesis alternativa (H1): Hay relación entre el interés de compra y la función de control remoto y de programación de funciones de la campana extractora. No se rechaza la Hipótesis nula.

*Conclusión:* no hay un interés de compra en relación a las nuevas funciones propuestas: control remoto y programación de funciones del extractor.

Los principios Lean Toyota y la Función de Calidad (FVD) se utilizaron para el armado de la Tabla 3. Se relacionaron las demandas del cliente con las demandas de valor desarrolladas por la Empresa metalmecánica, que fueron: las características técnicas del extractor y los servicios técnicos brindados por la empresa al cliente.

Las Escalas cuali-cuantitativa utilizadas en la Tabla 3 son:

<sup>1</sup> Demandas del cliente: con la escala 9 (fuerte), 6 (media), 3 (débil) y 0 (nula).

<sup>2</sup> (IQj) la escala varió entre: 0 (mínimo) y 100 (máximo).

Se obtuvo sumando verticalmente el producto de cada característica técnica por su índice de importancia de calidad (columna derecha).

<sup>3</sup> (Dj) con la escala: 0,5 (muy difícil), 1,0 (difícil), 1,5 (moderado), 2,0 (fácil).

<sup>4</sup> (Bj), con la escala: 0,5 (por arriba de la competencia), 1,0 (similar a la competencia), 1,5 (por debajo de la competencia), 2,0 (muy debajo de la competencia).

<sup>5</sup> (IQj\*) la escala se obtuvo aplicando la ecuación.  $(IQj^*) = (IQj) (Dj)^{1/2} (Bj)^{1/2}$

**Tabla 3. Campana extractora: función calidad de valor, agilidad organizacional y principios Lean Toyota.**

CAMPANA EXTRACTORA	INFORMACION TECNOLÓGICA																		
	Características Técnicas												Servicios Técnicos						
<b>Función Calidad de Valor (FVD)</b>	Acero SAE 304. Dim.2x1 m, E=0,5 mm Dim. campana: 60x60x45 cm Motor Q=1000 m3/h, 3 vel. 55 db. 400 W Kits plaqueta electrónica, 220/12V. Transformador 220/12 V Control remoto y plaqueta receptora Luces de leds: 5 W, Dj= 50 mm Filtro met.520x520 mm, esp.=12 mm Filtro activo de carbón activado Con porta flitros y colgar utensilios Cubre cond. acero inox.: 20x20cm Ducto salida: flex de metal, d = 15 cm Diseño ergonómico												Diseño estético (escala: 1-10). Repuestos y herramientas del equipo Técnicos de instalación y garantías Oficina y taller de post venta y garantía Camionetas para instalación con garantía					Índice de importancia de Calidad Demandada	
<b><sup>1</sup> Demandas del Cliente</b>																			
Producto armado	3	9	9	9	-	9	6	6	6	3	3	3	-	-	6	9	3	9	0,8
Disp.y color flex.	9	9	6	6	6	6	-	6	6	6	6	6	9	9	9	3	3	3	0,7
Colores del equipo	9	9	9	9	6	6	-	6	3	3	6	9	9	9	9	3	3	3	0,9
Bajo consumo	-	-	9	6	6	9	6	-	-	-	-	-	-	-	9	6	6	-	0,7
Control remoto	-	-	9	9	9	9	6	-	-	-	-	-	-	-	9	9	9	9	0,7
Aromatizador	-	-	9	6	6	9	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	3	3	0,5
Post venta-cons.	-	-	9	9	9	9	9	9	9	-	-	-	-	-	6	9	9	9	0,8
Partes interconec.	-	-	9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	-	-	6	9	9	9	0,9
Garantía extendida	-	-	9	9	-	-	-	9	9	3	3	3	-	-	9	9	6	9	0,8
Serv. instalación	-	-	9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	-	-	6	9	6	9	0,9
Servicio entrega	-	-	9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	-	-	6	9	6	9	0,9
<b><sup>2</sup> IQj</b>	17	21	73	70	53	64	44	52	49	19	22	25	14	14	60	61	49	57	
<b><sup>3</sup> Dj</b>	1,0	1,0	1,0	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
<b><sup>4</sup> Bj</b>	1,0	1,0	0,5	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
<b><sup>5</sup> IQj*</b>	17	21	52	140	80	128	88	104	99	19	22	25	14	14	120	122	98	114	

<sup>1</sup> Demandas del cliente. <sup>2</sup> IQj = Importancia técnica para cada Característica de Calidad (CC).

<sup>3</sup> Dj = Grado de dificultad, para modificar las especificaciones actuales de cada CC.

<sup>4</sup> Bj = Evaluación competitiva de las CC. <sup>5</sup> IQj\* = Importancia de las CC corregidas. [18]

En la Tabla 3, se observa que los ítems de “características técnicas de valor” a desarrollar por la empresa, resultan de vital importancia: los técnicos de instalación, repuestos o componentes, la oficina y taller de atención de post venta y los recursos adecuados para realizar el mantenimiento y la atención por garantía. Las características técnicas desarrolladas por la Empresa en la Tabla 3, se cualificaron de acuerdo a sus valoraciones cuantitativas que a continuación se desarrollan:

La importancia corregida para las características técnicas de calidad (de mayor a menor) fueron: el Kits plaqueta electrónica, 220/12V, el control remoto y la plaqueta receptora, las luces leds de 5 W y Di= 50 mm, el filtro activo de carbón activado, el transformador 220/12 V, el motor Q=1000 m<sup>3</sup>/h, 3 vel. 55 db. 400 W, el ducto de salida: flexible de metal, diámetro = 15 cm, el cubre condensado de acero inoxidable 20x20 cm<sup>2</sup>, dimensiones de la campana: 60x60x45 (en cm), de acero SAE 304, dimensiones 2x1 (en m), espesor = 0,5 mm, el diseño ergonómico.

La importancia corregida para los servicios técnicos de calidad (de mayor a menor) fueron: técnicos de instalación y garantías, repuestos y herramientas del equipo, camionetas para instalación con garantía, oficina y taller de post venta y garantía y diseño estético.

#### 4. Conclusiones

Al combinar la Función Calidad, la Agilidad Organizacional y el Lean Toyota, mejoró la visualización de los requisitos de los clientes y se detectaron nuevas necesidades.

Desde el punto de vista cuantitativo, se obtuvieron los valores numéricos para: las diferentes demandas del cliente, la importancia técnica de cada una de las características de calidad (IQ<sub>j</sub>), el grado de dificultad para modificar las especificaciones de cada característica de calidad (D<sub>j</sub>), la evaluación competitiva de las características de calidad (B<sub>j</sub>) y la importancia corregida de las características de calidad (IQ<sub>j</sub>\*).

Desde el punto de vista cualitativo, se determinó: la importancia relativa de las características y servicios técnicos, desarrollados por la Empresa.





Se obtuvo la información tecnológica que contribuyó a mejorar el proceso de desarrollo de la campana extractora, con el fin de asegurar que las necesidades de los usuarios sean bien atendidas.

#### Referencias

- [1] Socconini Pérez Gómez L. V., “Lean Company: más allá de la manufactura”, Barcelona, Marge Books, 2019. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/elibrounam/117565?page=16>
- [2] Ribeiro, J. L.; Echeveste, M. y Danilevich, A. M. Desarrollo de Productos. Cuaderno didáctico de: Desarrollo de Productos. Especialización y Maestría en Ingeniería de Planta y Producción, 2001. UNaM. Oberá, Argentina.
- [3] Zarbo Pablo y Gonzalez Diego, “Agilidad organizacional. Cómo Transformar Organizaciones, con propósito e impacto”, 1ra. Edición. Editorial Dunken, Ciudad autónoma de Buenos Aires, 2021.
- [4] Ulrich K. T.; Eppinger S. D., “Diseño y desarrollo de productos”, Quinta edición, Mcgraw-Hill, México, 2013.
- [5] Ulrich, Karl & Eppinger, S., “Product Design and Development”. Sexta Edición. Mc Graw Hill, Education. México, 2015
- [6] Pahl, G.; Beitz, W; Feldhusen, J.; Grote, K. H.), “Engineering design: a systematic approach”, Tercera edición. Springer, Londres, Inglaterra, 2007.
- [7] Cuatrecasas, L. “Gestión integral de la calidad: implantación, control y certificación”, Profit, Barcelona, España, 2010.
- [8] Carreras, M. R., y García, J. L. S., “Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad”, Editorial: E. D. de Santos, Madrid, España. 2010.
- [9] Hernández Matías, J. y Vizán Idoipe, Antonio, “Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación”, Editorial Fundación EOI, Madrid, España, 2013.

- [10] Pessoa M.V.P., y Trabasso L.G., “The Lean Product Design and Development Journey a Practical”, Editorial: Springer, Londres, Inglaterra, 2017.
- [11] Krajewski, Lee J, Ritzman, Larry P. & Malhotra, Manoj K Administración de operaciones. Procesos y cadena de suministro, Editorial: Pearson, Madrid, España. (2013).
- [12] Grech T., “The intersection of agile and waterfall”, Industrial Engineer: IE,47 (8), 47-49, 2015.
- [13] Morgan J. y Liker J., “The Toyota Product Development System”. New York: Productivity Press, 2006.
- [14] Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. Metodología de la investigación. McGraw - Hill Interamericana Editores S.A. de C.V., 2014. México, D. F.
- [15] Martínez Bencardino C., Estadística y muestreo. Bogotá. Décima tercera Edición, 2012. Editorial Ecoe.
- [16] Domínguez Gutiérrez S., Sánchez Ruiz, E. y Sánchez de Aparicio y Benítez, G. A. Guía para Elaborar una Tesis. México. Primera Edición, 2009. Editores: Mcgraw-Hill/Interamericana.
- [17] Maldonado Barón, Diana I. y Cadavid Rivera, Leonardo, “Cómo una microempresa logró un desarrollo de productos ágil y generador de valor empleando Lean”, Revista Estudios Gerenciales, Vol. 30 (130), 40-47, 2014.
- [18] Alcaide Marzal J.; Diego Más J. A.; Artacho Ramírez Miguel A., “Diseño de producto: métodos y técnicas”, Alfaomega, México, 2004.

## Cálculo y Diseño de un Anillo de Desgaste de Cierre Escalonado Para Bombas Centrífugas

David L. Carballea Cabrera<sup>a</sup> , Neeldes Matos Ramírez<sup>a</sup> , Isnel Benítez Cortés<sup>b</sup> ,  
Juan Esteban Miño Valdés<sup>c,\*</sup> 

<sup>a</sup> Facultad de Electromecánica, Universidad de Camagüey (UC), Cuba.

<sup>b</sup> Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad de Camagüey (UC), Cuba.

<sup>c</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Argentina.

e-mails: david.carballea@reduc.edu.cu, neeldes.matos@reduc.edu.cu, isnel.benites@reduc.edu.cu,  
jemino53@gmail.com

### Resumen

El objetivo del presente trabajo fue calcular y diseñar un anillo de desgaste de cierre escalonado para lograr mayor eficiencia volumétrica y total respecto de los anillos de cierre lisos, usados tradicionalmente en bombas centrífugas. Para construir los anillos se usó el hierro colado por su fácil adquisición y debido a sus propiedades físicas y mecánicas, el montaje fue mediante una prensa hidráulica. El anillo de desgaste escalonado tuvo un diámetro exterior de 96 mm con una longitud de 9,72 mm; en su diámetro interior se representan dos escalones, uno con un diámetro de 84 mm, la misma dimensión del diámetro del cuello del rodete con una longitud de 4,60 mm. El diseño logró que disminuya la pérdida del continuo flujo de agua entre el anillo y el cuello del rodete, por lo ello, aumentaron la carga que entregó el equipo y su eficiencia volumétrica.

**Palabras clave:** Anillos de desgaste, Cálculo y diseño, Bombas centrífugas, Eficiencia

### Abstract

The objective of this work was to calculate and design a stepped seal wear ring to achieve greater volumetric and total efficiency compared to smooth seal rings, traditionally used in centrifugal electric pumps. To build the rings, cast iron was used due to its easy acquisition and physical and mechanical properties, a hydraulic press was used in assembly. The stepped wear ring had an outer diameter of 96 mm with a length of 9.72 mm; two steps are represented in its inner diameter, one with a diameter of 84 mm, the same dimension as the diameter of the impeller neck with a length of 4.60 mm. The design managed to reduce the loss of continuous water flow between the ring and the neck of the impeller, therefore, increasing the load delivered by the equipment and its volumetric efficiency.

**Keywords:** Wear rings, Calculation and design, Centrifugal pumps, Efficiency

## 1. Introducción

El diseño y construcción de bombas centrífugas constituye una actividad industrial notablemente desarrollada y entre los modernos diseños existe una gran variedad en cuanto a tipos y rangos de aplicación. A pesar de ello, ambas fases se basan en la experimentación y en el conocimiento acumulado que los distintos fabricantes poseen. Estas bombas centrífugas son capaces de mover un cierto volumen de líquido entre dos niveles; son pues, máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico.

Su funcionamiento consiste en que el fluido ingresa por la entrada del cuerpo (carcasa) de la bomba ya sea por presión atmosférica o por presión de vacío, conforme va girando el rodete, el líquido fluye hacia la sección de descarga de la bomba. Esto crea un vacío o un área de presión reducida en la entrada del rodete, la presión en la entrada de la carcasa de la bomba, que es mayor que la presión reducida en la entrada del rodete, impulsa líquido adicional dentro de este elemento para llenar el vacío [1].



En la Fábrica de Bombas de Camagüey (Cuba), conocida con el nombre de “Alejandro Arias Medina”, los diseñadores en un camino de constante perfeccionamiento y actualización, han desarrollado un amplio surtido de bombas, las cuales pueden ser movidas por la conexión directa a ellas de distintos tipos de unidades motrices, como motores eléctricos, máquinas, turbinas de vapor, turbinas hidráulicas, motores de combustión interna, entre otros, con el fin de satisfacer las más exigentes demandas en aplicaciones de la agricultura y la ganadería entre otras.

Las bombas impulsadas por motores eléctricos son llamadas electrobombas que son dispositivos utilizados para producir el movimiento o desplazamiento de un fluido en contra de la presión a través de tuberías o mangueras. Las electrobombas presentan generalmente mayor vida útil y al igual que en cualquier bomba centrífuga, su funcionamiento se basa en la entrada del fluido por el centro del rodete o impulsor, a su vez el giro genera la fuerza centrífuga que hace que el líquido pase al cuerpo de la bomba donde la energía cinética del fluido se transforma en presión. Finalmente, desde el cuerpo el líquido será dirigido hacia donde se pretende trasladar a través de tuberías o mangueras [2].

Pero una de las producciones tradicionales y de mayor fuente de ingresos de dicha Fábrica de Bombeo lo constituyen las motobombas, las cuales son bombas centrífugas acopladas en forma monoblock a motores diésel monocilíndricos o de dos cilindros (que en adelante se mencionará como motobombas). Este tipo de bomba centrífuga acoplada a motores diésel tiene en la actualidad una alta demanda debido a que aún en la agricultura no todas las fuentes de agua empleadas en el riego de plantaciones están electrificadas, por lo que se hacen necesarias bombas cuya fuente de energía sean motores diésel [3].

Los productores de este tipo de equipos se enfrentan a la dificultad de que, en las bombas que se montan con estos tipos de motores en forma monoblock, es necesario dejar una holgura mucho mayor entre el cuello del rodete y el cuerpo (o el aro de cierre si lo tuviere) que la que se recomienda en la literatura, debido a dos factores fundamentales. Estos factores son: 1) la vibración que se produce en los motores diésel de uno o dos cilindros durante su funcionamiento, que se transmite por el árbol hasta el rodete, 2) en la mayoría de los casos se hace necesario el uso de árboles extensiones del cigüeñal, los cuales, en la realidad, no siempre quedan con el escurrimiento radial deseado. Se ha demostrado en la experiencia práctica de la fabricación de estas motobombas que se debe dejar una holgura de 0,4 mm como mínimo, debido a que se corre el riesgo de fractura en el cuello del rodete a valores  $< 0,4$  mm [4].

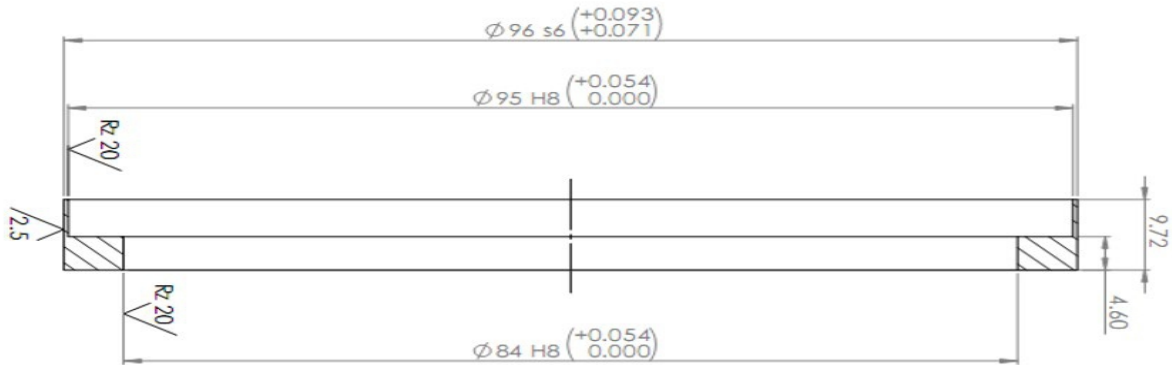
...En la actualidad en la Fábrica “Alejandro Arias Medina” se están construyendo las motobombas sin estos anillos de desgaste, lo que trae consigo un mayor derroche de combustible y con ello, mayor emisión de gases de combustión a la atmósfera.

Por tal motivo el objetivo del presente trabajo fue calcular y diseñar un anillo de desgaste de cierre escalonado para lograr una mayor eficiencia volumétrica y total respecto de los anillos de cierre lisos, usados tradicionalmente en bombas centrífugas.

## **2. Materiales y Métodos**

En la fábrica “Alejandro Arias Medina” se diseñó un nuevo anillo de desgaste cilíndrico escalonado a partir del estudio realizado por Stepanoff con una longitud de 5 mm para así mejorar su eficiencia volumétrica, aclarando que este diseño de anillo escalonado no reduce totalmente el caudal de fuga, pero si mejora notablemente la eficiencia de la motobomba.

El plano del anillo de desgaste escalonado se representa en la Fig. 1, allí se puede apreciar que tiene un diámetro exterior de 96 mm; (porque es el diámetro del cuerpo donde este anillo va ubicado), con una longitud de 9,72 mm. En su diámetro interior se representan dos escalones, uno con un diámetro de 84 mm, la misma dimensión del diámetro del cuello del rodete con una longitud de 4,60 mm y el otro con un diámetro de 95 mm con una longitud de 5,12 mm.



**Fig. 1. Plano del anillo de desgaste escalonado.** Elaboración propia (2023)

De acuerdo al sistema de ajuste ISO, el diámetro exterior del anillo con respecto a la voluta, este va a ser un ajuste fijo s6 y el diámetro interior del anillo con respecto al cuello del rodete va a ser un ajuste móvil H8, las tolerancias se escogen a partir de los ajustes en la Norma cubana ISO y las rugosidades se sacan a partir de la diferencia de las tolerancias. [5] y [6]

Para el material del nuevo anillo de desgaste, Church [2], plantea que para evitar el agarrotamiento del anillo es aconsejable que sean de diferentes materiales como es el hierro colado y el bronce (aleación de cobre y estaño), por lo que en la presente investigación se escoge el hierro colado por su fácil adquisición y debido a sus propiedades físicas y mecánicas.

Para lograr que el anillo quede fijo en el cuerpo, se utilizó una prensa hidráulica para su montaje.

### 3. Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se observan los resultados analíticos de la holgura del canal anular cilíndrico liso con características del flujo y la eficiencia volumétrica de la bomba, según [7] y [8].

En las Fig.2 y 3, se presenta el comportamiento de la eficiencia volumétrica % y la eficiencia total % en función de la holgura radial de los canales anulares: lisos y escalonados, respectivamente.

*Caso de un canal liso*, ver Fig.2, para un incremento de holgura radial de 0,15 a 0,75 mm, las eficiencias volumétricas porcentuales de la bomba descendieron de 98,02 a 92,57%, respectivamente. Este descenso absoluto fue de 5,45% para las eficiencias volumétricas.

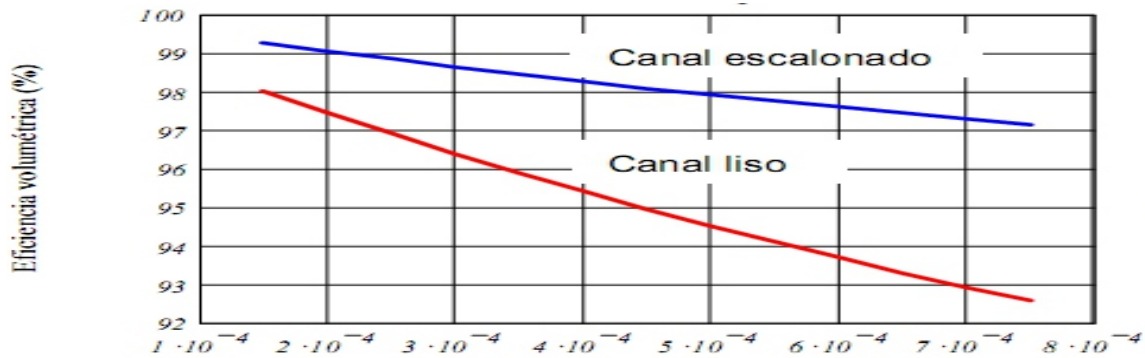
*Caso de un canal escalonado*, ver Fig.2, para un incremento de holgura radial de 0,15 a 0,75 mm, las eficiencias volumétricas porcentuales de la bomba descendieron de 99,27 a 97,14%, respectivamente. Este descenso absoluto fue de 2,13% para las eficiencias volumétricas.

*Caso de un canal liso*, ver Fig.3, para un incremento de holgura radial de 0,15 a 0,75 mm, las eficiencias totales % de la bomba descendieron de 62,14 a 58,68%, respectivamente. Este descenso absoluto fue de 3,46% para las eficiencias totales.

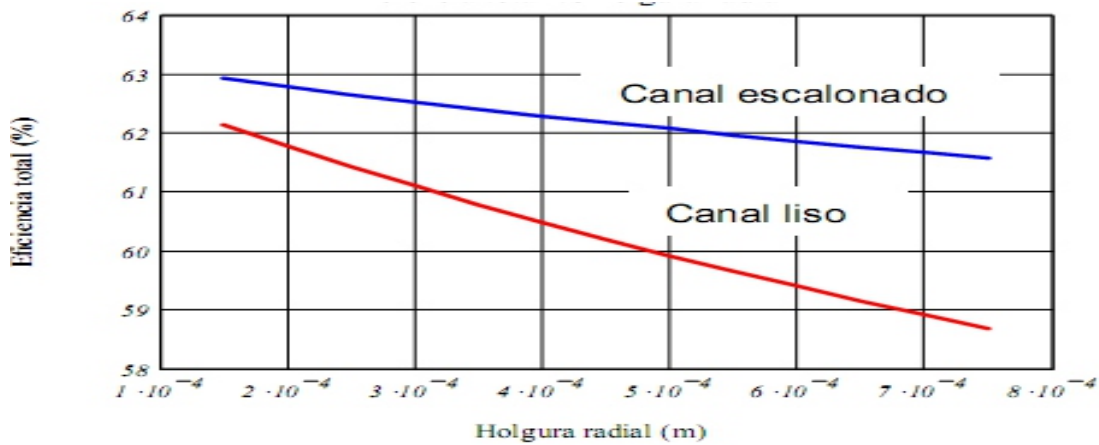
*Caso de un canal escalonado*, ver Fig.3, para un incremento de holgura radial de 0,15 a 0,75 mm. las eficiencias totales % de la bomba descendieron de 62,93 a 61,58%, respectivamente Este descenso absoluto fue de 1,35% para las eficiencias totales.

**Tabla 1. Resultados analíticos de la holgura radial del canal anular cilíndrico liso y las características del flujo**

No	Holguras radiales (mm)	Coefficiente de fricción	Velocidad de la componente axial del flujo (m/s)	No Reynolds componente tangencial del flujo	No Reynolds componente axial del flujo	No de Reynolds del flujo por el canal anular	Caudal de fuga (m³/s)	Eficiencia volumétrica (%)	Eficiencia total (%)
1	0.15	0.165	4.209	5784.6	1568.6	3290.3	1.68E-04	98.02	62.14
2	0.20	0.133	4.098	7703.7	2036.5	4357.1	2.18E-04	97.45	61.78
3	0.25	0.115	4.004	9618.3	2487.2	5414.2	2.66E-04	96.91	61.43
4	0.30	0.103	3.922	11528.3	2922.9	6462.8	3.12E-04	96.39	61.11
5	0.35	0.095	3.847	13433.7	3345.1	7503.7	3.57E-04	95.90	60.79
6	0.40	0.089	3.778	15334.6	3754.9	8537.4	4.00E-04	95.42	60.49
7	0.45	0.084	3.715	17231.0	4153.3	9564.3	4.42E-04	94.97	60.20
8	0.50	0.080	3.655	19122.7	4541.0	10584.9	4.82E-04	94.53	59.92
9	0.55	0.077	3.599	21010.0	4918.5	11599.4	5.22E-04	94.11	59.66
10	0.60	0.074	3.546	22892.6	5286.3	12608.1	5.60E-04	93.70	59.40
11	0.65	0.071	3.495	24770.8	5644.8	13611.1	5.97E-04	93.31	59.15
12	0.70	0.069	3.447	26644.3	5994.4	14608.7	6.34E-04	92.93	58.91
13	0.75	0.067	3.400	28513.4	6335.4	15601.0	6.69E-04	92.57	58.68



**Fig. 2. Eficiencia volumétrica % vs la holgura radial de los canales anulares lisos y escalonados**



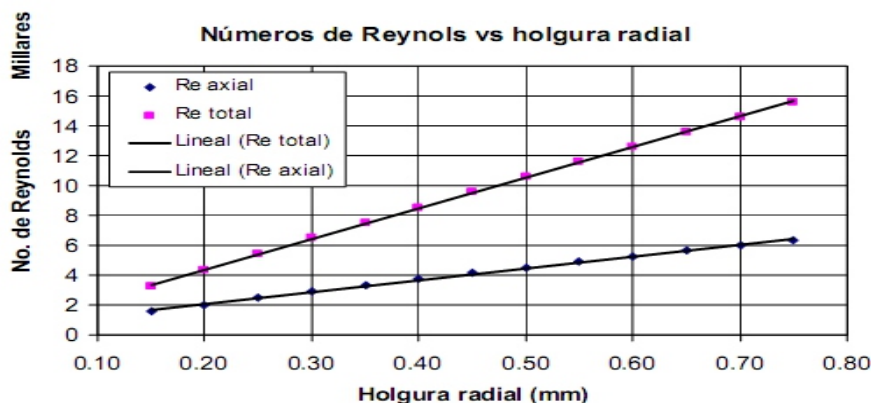
**Fig. 3. Eficiencia total % vs la holgura radial de los canales anulares lisos y escalonados**

El uso del cuello escalonado mejora la eficiencia total con cualquier valor de la holgura si se compara con los valores obtenidos para el canal anular liso, pero presenta la ventaja adicional de que, con el incremento de la holgura la eficiencia no decrece tanto como en el caso anterior, lo cual posibilita el empleo de las holguras necesarias en las motobombas sin que ello constituya una gran preocupación para la dirección de la fábrica productora.

...En la mayoría de las motobombas que se producen es necesario dejar holguras radiales de aproximadamente 0,4 a 0,5 milímetros con las cuales, empleando cuellos cilíndricos lisos en los rodets, no es posible aspirar a eficiencias totales mayores de 59,9%; mientras que, usando cuellos escalonados en el referido componente, podrían lograrse eficiencias de al menos 62% o mayores si se mejoran los otros componentes de la eficiencia (hidráulica y/o mecánica). [8] y [9]

...Se observó en las Fig. 2 y 3, que el comportamiento de las eficiencias %, con respecto al incremento de la holgura radial son prácticamente lineales, para los cuellos: lisos y escalonados.

...Teniendo en cuenta la categorización hecha por Gülich acerca de considerar el flujo laminar con  $Re = 2000$  y con números mayores considerarlos turbulentos, se observó también en la Tabla 1 y en la Fig. 4, que sólo el primer valor del Nro. de Reynolds axial, correspondiente a una holgura radial de 0,15 mm responde a flujo en régimen laminar, mientras que con holguras mayores se pueden categorizar en régimen turbulento [10]. El comportamiento de los Nros. de Reynolds axial y total con respecto a la holgura del canal anular cilíndrico liso, ver en la Fig.4.



**Fig. 4. Comportamiento de los Nro. de Reynolds axial y total en función de la holgura radial del canal anular liso**

En la Fig. 4, los puntos corresponden a los valores calculados con el algoritmo en Mathcad 13 ya mencionado. Obsérvese que la recta ajustada se corresponde perfectamente con los puntos calculados, con un coeficiente de correlación  $R^2 = 0,999$ ; por lo que puede asumirse que el comportamiento es lineal.

Las ecuaciones que caracterizan a los números de Reynolds axial y total con respecto a la holgura radial para la bomba que se analizó, son las siguientes [11]:

Para el Reynolds axial:

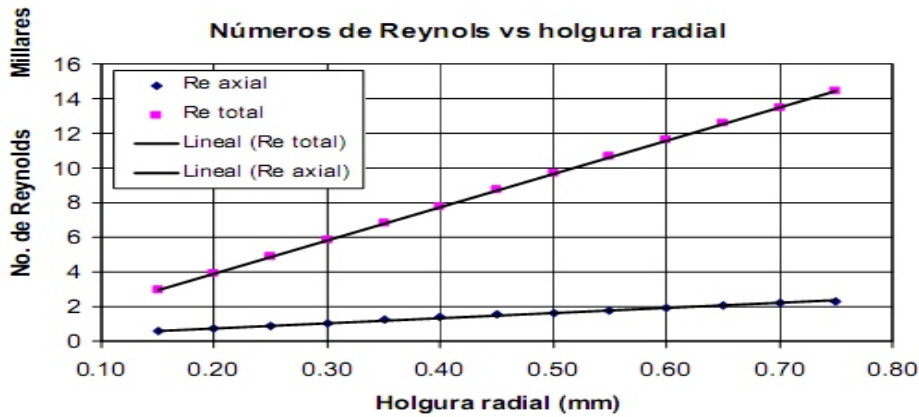
$$Re_{ax} = 7917 \cdot s + 513,44$$

Para el Reynolds total:

$$Re = 20514 \cdot s + 292,01$$

Para el caso del rodete con canal anular escalonado, en la Fig. 5 se aprecian los comportamientos de los números de Reynolds axiales y totales en función de las holguras radiales consideradas. Se observa que los números de Reynolds axiales, para valores iguales de las holguras radiales, son

bastante menores que para el canal cilíndrico liso, mientras que los valores de los números de Reynolds totales son ligeramente menores. Ambos comportamientos de los números de Reynolds en este caso también son lineales con respecto a la holgura radial. En este caso los números de Reynolds axiales, con excepción de los tres últimos correspondientes a las holguras mayores, los restantes se encuentran en la categoría de flujo en régimen laminar.



**Fig. 5. Comportamiento de los números de Reynolds de acuerdo a las holguras radiales del canal escalonado.**

Asimismo, se construyó otro gráfico para el análisis del comportamiento del coeficiente de fricción con respecto a la holgura radial para ambos tipos de canales que se estudiaron, el cual se muestra en la Fig. 6. Los comportamientos encontrados son de forma polinómicas y las ecuaciones que mejor lo caracterizaron, con coeficiente de correlación  $R^2 = 0,998$  son las siguientes:

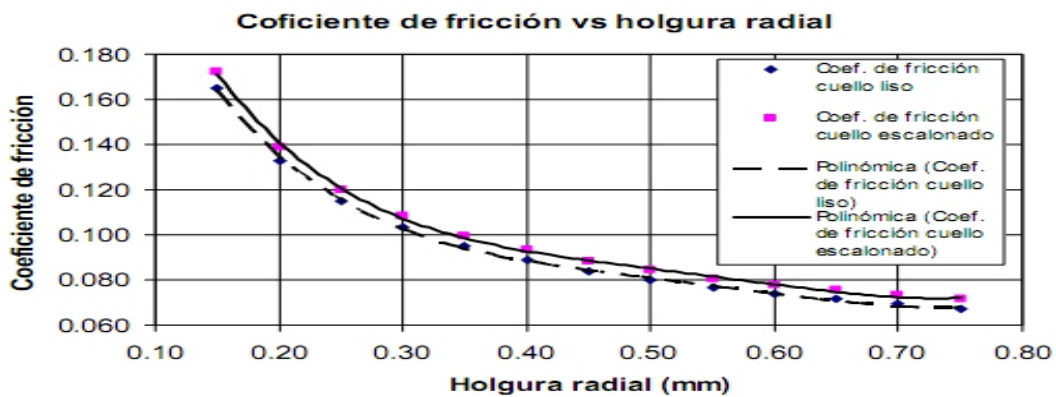
Para el canal anular cilíndrico liso [12]:

$$\lambda = 2,6787.s^4 - 2,0836.s^3 + 4,6576.s^2 - 1,7302.s + 0,3365$$

Para el canal anular cilíndrico escalonado:

$$\lambda = 2,8313.s^4 - 6,1013.s^3 + 4,9086.s^2 - 1,8178.s + 0,3526$$

En el gráfico de la Fig. 6, se observó que los valores de los coeficientes de fricción para cada valor de holgura radial son muy parecidos, ligeramente mayores para el escalonado, lo cual también habla a favor de la reducción del caudal por el sello escalonado, aunque no sea este el factor fundamental en la disminución de las fugas.

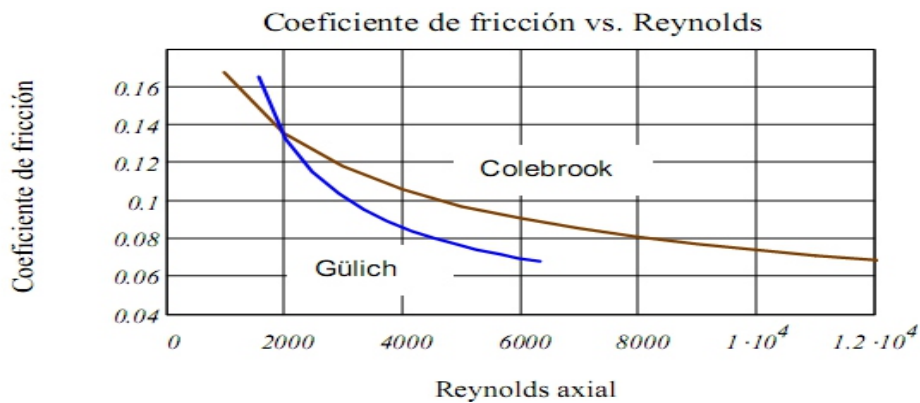


**Fig. 6. Comportamiento de los coeficientes de fricción con el incremento de la holgura radial**

En la Fig. 7 aparece el comportamiento de los coeficientes de fricción en función del número de Reynolds axial, calculados por el método de Gülich, utilizando la ecuación de Colebrook. Se



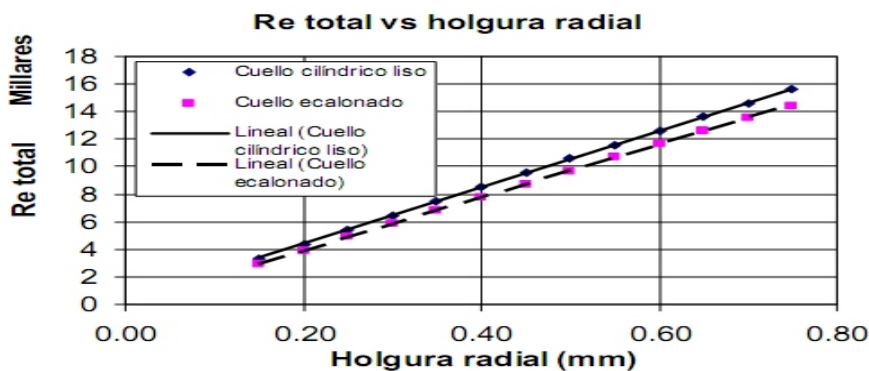
observó que con el aumento del número de Reynolds, es decir, con el incremento de la holgura, los valores de los coeficientes de fricción obtenidos mediante el procedimiento de Gülich siguen una curva que puede considerarse paralela a partir de  $Re_{ax} = 3000$ , con valores menores que los encontrados con la ecuación de Colebrook, lo cual concuerda con lo que afirma el primero de estos dos autores acerca de que la velocidad de rotación del rodete disminuye la resistencia al paso del flujo por el canal anular. Sin embargo, para los Nros. de Reynolds axiales de menor valor, lo que significa también que, para las holguras más pequeñas, los valores del coeficiente de fricción encontrados por ambos métodos tienen muy poca diferencia, llegando a ser los obtenidos por Gülich algo mayores para los Nros. de Reynolds más pequeños. Lo que llevó a la conclusión de que, para números de Reynolds axiales menores de 3000 la influencia de la velocidad de rotación disminuye notablemente en los valores del coeficiente de fricción.



**Fig. 7. Coeficientes de fricción hallados de acuerdo a Colebrook y a Gülich para el canal anular liso**

En la Fig. 8, se muestra un gráfico comparativo con los comportamientos de los Nros.de Reynolds totales con ambos diseños del canal anular. Los valores de este número adimensional que caracteriza el régimen de flujo, son ligeramente menores para el canal escalonado, y esta diferencia se hace más apreciable mientras mayor es la holgura radial del canal escalonado. La ecuación que caracteriza el comportamiento del número de Reynolds para el canal escalonado, con un coeficiente de correlación de  $R^2 = 1$ , es la siguiente [12]:

$$Re = 19158.s+107,96$$

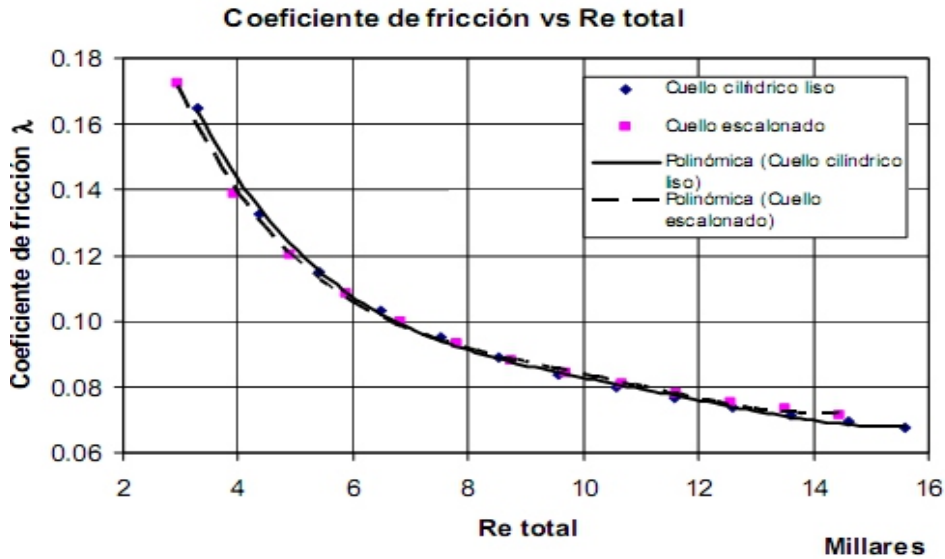


**Fig. 8. Nro. de Reynolds total vs la holgura radial para canales cilíndrico lisos y escalonados.**

En la Fig. 9, se muestran los comportamientos de los coeficientes de fricción en función de número de Reynolds total para ambos diseños del canal anular. En este gráfico se aprecia que los coeficientes de fricción difieren muy poco y prácticamente pueden considerarse iguales. Observe cómo las dos curvas se confunden una con otra. Sin embargo, en el gráfico de la Fig. 9, donde se

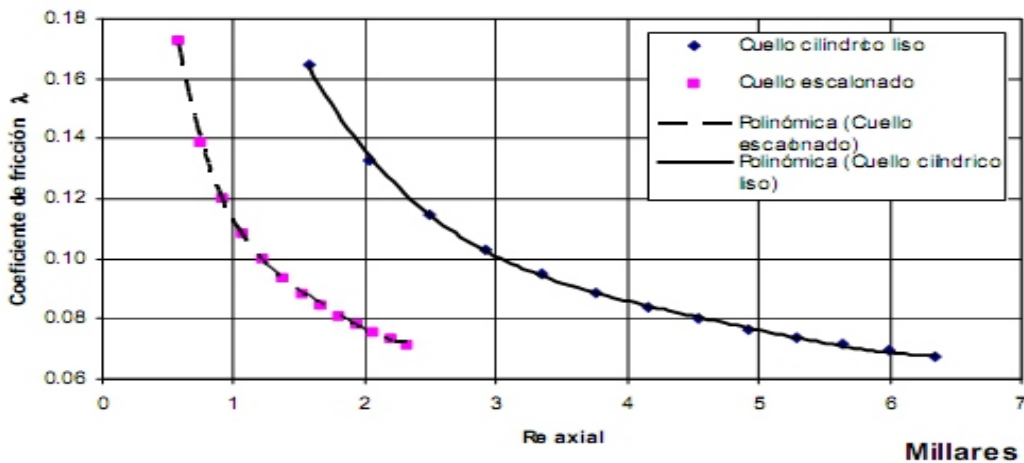


comparan estos coeficientes de fricción en función de los números de Reynolds axiales, si hay una diferencia apreciable y, como se mencionó antes, el valor del número de Reynolds axial es determinante en la magnitud de las fugas por el canal anular. En este último gráfico lo fundamental que debe observarse es que los números de Reynolds axiales para el canal anular escalonado son muy inferiores a los que se obtuvieron para el canal anular liso, como ya se pudo apreciar en el gráfico de la Fig. 4, debido fundamentalmente a que las componentes axiales de las velocidades del flujo son inferiores también.



**Fig. 9. Coeficiente de fricción en función del número de Reynolds total.**

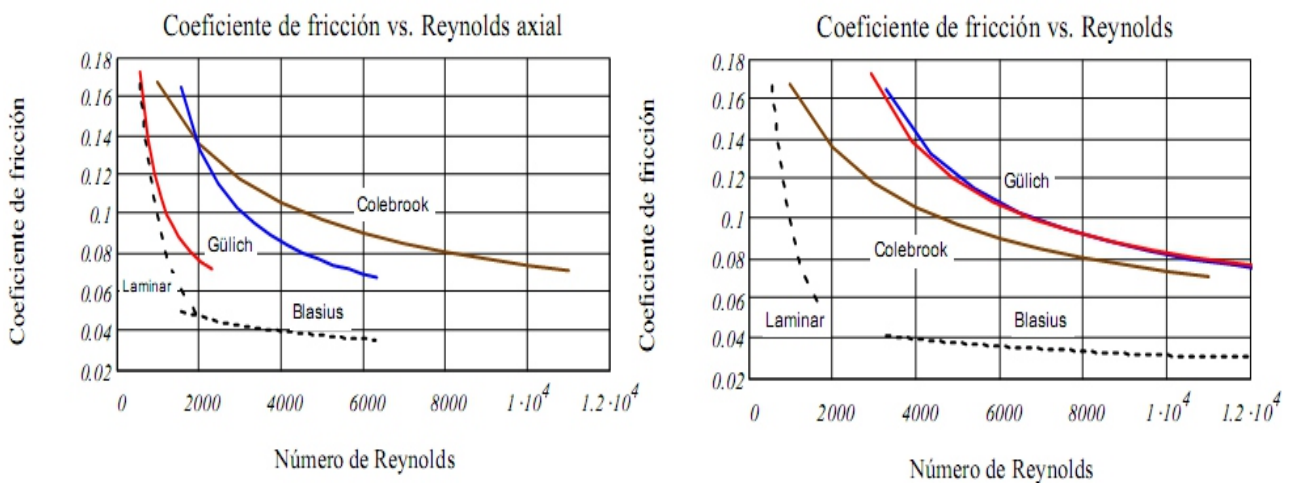
...Se compararon los coeficientes de fricción hallados por el procedimiento de Gülich para ambos tipos de canales anulares y mediante la ecuación de Colebrook para el canal escalonado contra los números de Reynolds total Fig.9, y Reynolds axial Fig.10, respectivamente.



**Fig. 10. Coeficiente de fricción en función del Reynolds axial.**

En la Fig 10 la curvade la izquierda confirma que el canal escalonado tiene los números de Reynolds axiales muchos menores que para el cilíndrico liso, y los valores del coeficiente de fricción son menores que los hallados por la ecuación de Colebrook para un mismo valor del número de Reynolds.

...En la Fig.11 sin embargo, considerando los números de Reynolds totales, se observa que los coeficientes de fricción encontrados mediante el procedimiento de Gülich, para los dos tipos de canales anulares tienden a coincidir con los hallados con la ecuación de Colebrook para los números de Reynolds más altos. Las desviaciones mayores ocurren para los valores menores del número de Reynolds, lo que significa también para las holguras radiales menores. Las desviaciones se deben a que, para las holguras menores, el efecto de la rotación del rodete posee una mayor influencia en el coeficiente de fricción en función del Reynolds total, es decir, lo opuesto a lo que ya se vio que ocurre con el coeficiente de fricción en función del Reynolds axial. Dicho efecto está en función de la relación de los números de Reynolds tangencial y axial y, para holguras radiales menores, esta relación será siempre mayor [13] y [14].

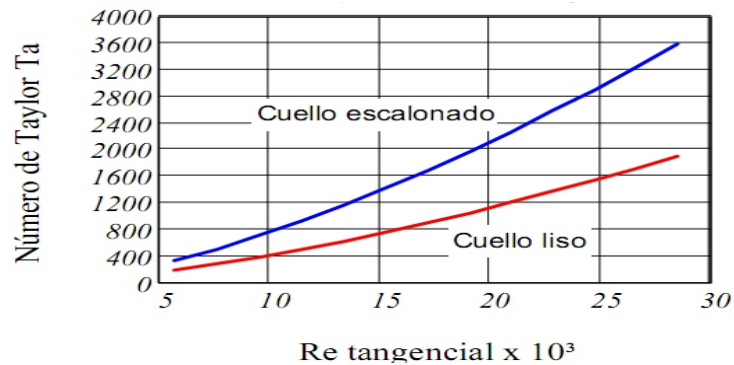


**Fig. 11. Coeficientes de fricción vs Nro. de Reynolds axial y total, determinados por Gülich y Colebrook**

En la Fig. 11 también se han representado las curvas correspondientes a un canal de superficies hidráulicamente lisas (curva en trazos discontinuos, en posición inferior), empleando la ecuación de Blasius, y la curva de valores de los coeficientes de fricción en régimen laminar (curva de trazos y puntos, a la izquierda). Se observa que todos los valores de los coeficientes de fricción encontrados, para las dos geometrías que se analizaron del canal anular, son mayores que los que se corresponden con una superficie hidráulicamente lisa, lo que demuestra que en estos casos el espesor de la capa límite (o de la subcapa viscosa, según sea el caso) es menor que la altura media de la irregularidad de las superficies, lo cual se traduce en que las superficies de los canales anulares son hidráulicamente rugosas. Nótese también, en el gráfico de la izquierda, que los valores de los coeficientes de fricción correspondientes al canal escalonado, en función del número de Reynolds axial, se encuentran en su gran mayoría en la zona de régimen laminar, lo cual significa que el coeficiente de fricción sea función solamente del número de Reynolds axial y no de la rugosidad relativa del canal anular.

En el gráfico de la Fig. 12 puede verse el comportamiento del Número de Taylor en función del número de Reynolds tangencial. Aquí se puede apreciar que para el canal anular escalonado los números de Taylor son mayores que para el cilíndrico liso y esta diferencia se hace más notable mientras mayor es el número de Reynolds tangencial que, a su vez, depende del diámetro del cuello, de la velocidad de rotación del rodete y de la holgura radial. Nótese que en el caso del cuello cilíndrico liso pueden formarse vórtices de Taylor hasta un valor del número de Reynolds

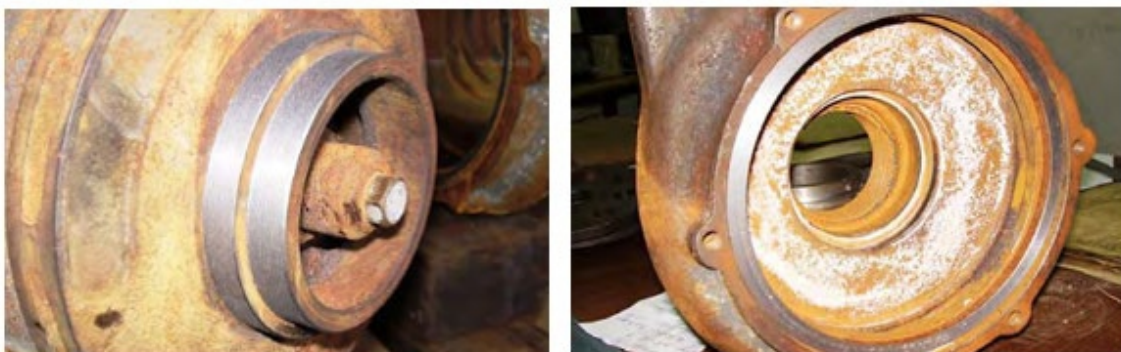
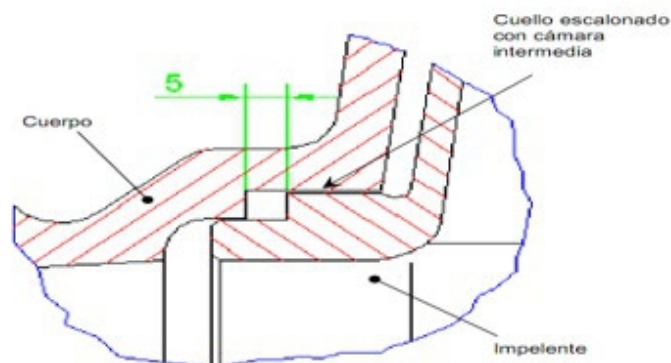
tangencial de aproximadamente 10 000, mientras que para el cuello escalonado esta posibilidad es hasta un número de Reynolds de 7 000 aproximadamente, por lo que hay mayor probabilidad de que se formen los referidos vórtices en el canal anular cilíndrico liso [15].



**Fig. 12. Número de Taylor en función del número del Reynolds tangencial.**

### 3.1. Evaluación económica y medioambiental de los resultados.

El diseño que se propone del anillo de desgaste escalonado de motores diésel acoplados a bombas centrífugas horizontales, se basa en materiales que existen en el país, relativamente de bajo costo, que pueden ser fabricados en la Fábrica “Alejandro Arias Medina” y pueden ser cambiados en las instalaciones de la empresa de Acueducto y con los equipos existentes en el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Este organismo ha importado estas máquinas (motores diésel más bombas centrífugas horizontales) y se han paralizado por roturas, en un período promedio de un año natural desde su puesta en funcionamiento, lo que trae consigo un elevado costo por acciones de mantenimiento preventivas y reactivas, en adición a los costos asociados por pérdida de oportunidad.



**Fig. 13. Anillo de cuello escalonado con cámara intermedia**

Se calculó el ahorro de combustible diésel por el uso del anillo escalonado y liso en las motobombas AMS-50-160 con motor diésel MINSEL M431, teniendo como referencia que en una campaña tabacalera participan unas 20.000 motobombas, con un promedio de 800 horas de explotación, lo que dio como resultado que el anillo escalonado (Fig.13) consume  $9,552.10^5$  kg de combustible menos que con un anillo liso, lo que dió un ahorro de 581.009,44 CUC (pesos convertibles cubanos). Para una campaña tabacalera, se calculó que con el anillo escalonado se emitieron 3.099,8 Tn menos de CO<sub>2</sub> que con el anillo liso.

Se puede inferir que disminuirán las emisiones de CO<sub>2</sub> (g), del efecto invernadero y otros como el SO<sub>2</sub> (g), el NO (g) y el NO<sub>2</sub> (g), causantes de las lluvias ácidas, por el ahorro de combustible del funcionamiento de las bombas centrífugas.

#### 4. Conclusiones

...El comportamiento de las eficiencias % totales y volumétricas con respecto al incremento de la holgura radial son prácticamente lineales, para los cuellos: lisos y escalonados, respectivamente.

Las vibraciones que tienen lugar durante el funcionamiento en los motores diésel mono cilíndricos y al uso de extensiones del cigüeñal en las motobombas conducen a una pérdida mayor de lo normal de eficiencia volumétrica y total, por lo que es necesario dejar holguras radiales de al menos 0,4 mm en el canal anular entre el rodete y el cuerpo.

...El modelo de bomba AMS-50-160 que se producen en la Fábrica “Alejandro Arias Medina” son de velocidades específicas pequeñas, por lo que la eficiencia volumétrica tiene una influencia significativa en la eficiencia total.

El diseño logra que disminuya la pérdida del continuo flujo de agua entre el anillo y el cuello del rodete, por lo tanto, aumenta la carga que entrega el equipo y aumenta su eficiencia volumétrica.

El uso del cuello escalonado mejoró la eficiencia total % con cualquier valor de la holgura si se compara con los valores obtenidos para el canal anular liso, pero presenta la ventaja adicional de que, con el incremento de la holgura la eficiencia no decrece tanto como en el caso anterior.

Fue viable la implementación del uso de los cuellos escalonados en los rodetes de las motobombas que se emplearon para el riego, debido a que con la reducción en la potencia absorbida, se obtuvo una reducción valorable en el consumo de combustible.

#### Referencias

- [1] Díez, P. F. *Bombas Centrífugas y volumétricas*. [en línea]. Cantabria, España: Universidad de Cantabria. [Consulta 13 de marzo del 2019]. Disponible en:  
[https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/40161885\\_bombas\\_centrifugas\\_y\\_volumetricas\\_ingenieria\\_3.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1557587447&Signature=%2B5ln3IP6FHLgSwTM1h0jPiwGkfQ%3D&response-content-disposition=in line%3B%20filename%3DBombas\\_centrifugas\\_y\\_volumetricas\\_ingeni.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/40161885_bombas_centrifugas_y_volumetricas_ingenieria_3.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1557587447&Signature=%2B5ln3IP6FHLgSwTM1h0jPiwGkfQ%3D&response-content-disposition=in%20line%3B%20filename%3DBombas_centrifugas_y_volumetricas_ingeni.pdf)
- [2] Church, A. H. *Bombas y máquinas soplantes centrífugas*. La Habana, Cuba: Ed. Revolucionaria, 2015.
- [3] Güllich, J. F. *Bombas Centrífugas*. Berlín, Alemania: Ed Leipzig, 2008.
- [4] Gody, M; y Guzman, R. *Diseño e instalación de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la comunidad de Airón Cebadas*. Memoria de Ingeniería Mecánica inédita. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciudad de Cuenca, Ecuador. 2012.
- [5] OFICINA NACIONAL NORMALIZACION. *NC-16-60:81, Rugosidad Superficial. Parámetros principales y valores numéricos*. La Habana, Cuba: C.E.N, 1982.
- [6] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *NC-ISO: 9906: 1999 (E)*.

- Rotodynamisc Pump- Hydraulic Performance Acceptance Test- Grades 1 and 2*. Geneva, Switzerland, 2004.
- [7] Heras, S. *Fluido, bombas e instalaciones hidráulicas*. [en línea]. Barcelona, España: Universidad de Cataluña, 2011. [Consulta: 26 de mayo del 2019]. ISBN 978-84-7653-893-7. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36653/9788476538937.pdf>
- [8] Jaime, N. *Diseño y construcción de anillos de desgastes para bombas centrífugas*. Santiago de Cuba, Cuba: Universidad de Oriente, 2005.
- [9] Moreno, I. D. Parámetros de bomba centrífuga de doble succión para la industria azucarera. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. La Habana, Cuba: Univ. Agraria de la Habana, 2018, 27(2), 8-12. ISSN 2071-0054.
- [10] Marchegiani, A.R. *Bombas Centrífugas*. Comahue, Argentina: Universidad Nacional de Comahue, 2020. [Consulta: 8 de enero del 2020]. ISBN 84-283-2243-0.
- [11] Norton, R. L. *Diseño de maquinaria*. [en línea]. Ciudad de México, México: Universidad La Salle, 2016. [Consulta 26 de febrero del 2019]. ISBN 970-10-2655-1. Disponible en: <file:///C:/Users/JOSE~1.CCR/AppData/Local/Temp/dise-o-de-maquinaria-2da-edici-n.p>.
- [12] Pérez, S. F; y Estébanez, C. R. *Mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas*. [en línea]. Ciudad de Cantabria, España: Universidad de Cantabria, 2012. [Consulta: 29 de marzo del 2019]. ISBN1230-2345. Disponible en: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1307/course/section/1605/T08.pdf>
- [13] Ríos, F.A. *Generación de electricidad a partir de electrobombas para zonas aisladas*. Memoria de Ingeniería Mecánica inédita. Universidad de Jaén, Ciudad de Jaén, España, 2014.
- [14] Ramírez, E.A. *Estudio de bombas centrífugas y su factibilidad de aplicación en la Facultad de Ingeniería Mecánica con la finalidad de obtener parámetros técnicos con variación de caudal*. Memoria de Ingeniería Mecánica. Universidad Técnica de Ambato, Ciudad de Ambato, Ecuador, 2012.
- [15] Ugalde, T. *Máquinas de elevación de agua en la Minería Romana*. [en línea]. 2020. [Consulta: 15 de febrero del 2020]. Disponible en: <http://www.traianvs.net/>.



Es una publicación de la  
Universidad Nacional de Misiones,  
Facultad de Ingeniería. Argentina.



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE MISIONES**



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA  
UNaM**

