

Entre

CIENCIA

e

INGENIERIA

3

Armando Dias Duarte
(Organizador)



Entre
CIENCIA
e
INGENIERIA
3

Armando Dias Duarte
(Organizador)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Armando Dias Duarte

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E61 Entre ciencia e ingenieria 3 / Organizador Armando Dias Duarte. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0447-7

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.477220308>

1. Ciencia. 2. Ingenieria. I. Duarte, Armando Dias (Organizador). II. Título.

CDD 501

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A coleção de trabalhos intitulada “*Entre Ciencia e Ingenieria 3*” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de diversos trabalhos que compõem seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar, pesquisas cujos resultados possam auxiliar na tomada de decisão, tanto no campo acadêmico, quanto no profissional.

Nos capítulos apresentados, são encontrados estudos de grande valia nas áreas da simulação computacional, materias, gestão energética, aspectos industriais, estudos ambientais, na área da educação e otimização.

A composição dos temas buscou a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos (as), mestres (as) e todos (as) aqueles (as) que de alguma forma se interessam pela área da Engenharia, através de temáticas atuais com resoluções inovadoras, descritas nos capítulos da coleção. Sendo assim, a divulgação científica é apresentada com grande importância para o desenvolvimento de toda uma nação, portanto, fica evidenciada a responsabilidade de transmissão dos saberes através de plataformas consolidadas e confiáveis, como a Atena Editora, capaz de oferecer uma maior segurança para os novos pesquisadores e os que já atuam nas diferentes áreas de pesquisa, exporem e divulgarem seus resultados.

Armando Dias Duarte

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

EFFECTOS DEL REFUERZO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO EN LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL HORMIGÓN

Dany Tasán
Josselyn García
Lucía Patrón

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4772203081>

CAPÍTULO 2..... 8

DESIGN, MANUFACTURE AND VALIDATION OF CUSTOMIZED SURGICAL GUIDES FOR TOTAL KNEE REPLACEMENT


L. San Martín
H. Losada
A. Tejo-Otero
C.M. Atienza Vicente

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4772203082>

CAPÍTULO 3..... 17

DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO, PARA UTILIZAR EN LA MACRO PLAZA DEL MALECÓN EN EL PUERTO DE VERACRUZ: UNA CONTRIBUCIÓN A MICROEMPRESA MÓVIL O FIJA DE ARTESANÍAS


Miguel Ángel Quiroz García
Leodegario Vázquez González
Carlos Roberto González Escarpeta
Mónica Rodríguez Landa
Raymundo Escalante Wong
Othoniel Salomón Acosta
José de Jesús Romero Castro
Samuel Sarmiento Gutiérrez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4772203083>

CAPÍTULO 4..... 26

ESTUDO DO MOTOR SÍNCRONO

Pérez Millán Brenda Carolina
Vergara Hernández Erasto
Cea Montufar César Eduardo
Fernández Anaya Alfredo


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4772203084>

CAPÍTULO 5..... 33

APLICACIÓN Y ANÁLISIS DE CORE TOOLS PARA LA INTEGRACIÓN Y VALIDACIÓN DE MODELO G05 DE LA FASE DE PROTOTIPO A PRODUCCIÓN

Catalina Arriaga Vázquez
Elsa Castillo Carrillo
Ma. Guadalupe Jáuregui Ojeda


José Angel Sandoval Marín
Angel Manuel Medina Mendoza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4772203085>

CAPÍTULO 6..... 46

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LOSA PRETENSADA PPCC COMO SOLUCIÓN DE ENTREPISO Y CUBIERTA EN VIVIENDA SOCIAL


Bolívar Hernán. Maza
Daniela Stefanía. Maza Vivanco

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4772203086>

CAPÍTULO 7..... 65

METABOLISMO INDUSTRIAL DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO PAULO EMILIO MACÍAS, ECUADOR


Ricardo Fabricio Muñoz Farfán
Telly Yarita Macías Zambrano
Eder Israel Chinga Muentes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4772203087>

CAPÍTULO 8..... 77

PROPUESTA DE SISTEMA DE AHORRO INTELIGENTE MEDIANTE LA REUTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA PARA LOS BAÑOS EN EL CORREGIMIENTO DE LA RAYA DE SANTA MARÍA


Edwin A. Rivera S.
Eulices G. Castillo A.
Luis A. Quintero
Cristian Pinzón

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4772203088>

CAPÍTULO 9..... 89

BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PETRÓLEO CRUDO CON BACTERIAS Y LEVADURAS

Ismael Acosta Rodríguez
Daniela Paz Azuara
Adriana Rodríguez Pérez
Juan Fernando Cárdenas González
Víctor Manuel Martínez Juárez
Dalila del Socoro Contreras Briones
Juana Tovar Oviedo


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4772203089>

CAPÍTULO 10..... 97

MITIGACIÓN DE CO₂ POR EL APROVECHAMIENTO DE LA GEOTERMIA SOMERA EN LA CLIMATIZACIÓN DE EDIFICIOS EN COLOMBIA

Brian Sneyder Aros Amaya
Jhojan Stiven Zea Fernández
Cristian Alan Maldonado Romero

David Morillón Gálvez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.47722030810>

CAPÍTULO 11..... 107

LA INGENIERÍA INDUSTRIAL EN LOS PROCESOS DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE LA ZONA 4, ECUADOR

Telly Yarita Macías Zambrano

Teresa Viviana Moreira Vera


María Rodríguez Gámez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.47722030811>

CAPÍTULO 12..... 122

LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO HERRAMIENTA PARA FACILITAR EL TRANSITO DEL LENGUAJE ARITMÉTICO AL LENGUAJE ALGEBRAICO

Lenin Alfonso Montes Cabarcas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.47722030812>

CAPÍTULO 13..... 137

OBSERVATION IN THE HIGHER-LEVEL CLASSROOMS OF THE IPN

Patricia Acevedo Nava

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.47722030813>

CAPÍTULO 14..... 150

INFLUENCIA DE ACTIVIDADES EXTRACURRICULARES EN COMPETENCIAS DESARROLLADAS POR ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA DEL ITCH

Laura Isela Padilla Iracheta

Jaime Eduardo Trejo Aguirre

Esteban Rubio Ochoa


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.47722030814>

CAPÍTULO 15..... 165

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UN PROCESO DE SECADO DE MADERA UTILIZANDO DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Ramón Ángel Pons Murguía

Eulalia María Villa González del Pino

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.47722030815>

CAPÍTULO 16..... 178

REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN LA VIDA MODERNA: CONOCIENDO LA EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

Franyelit María Suárez-Carreño


Alexander Castillo Perdomo

Eva Elizabeth Tejada Manrique

Nilo Walker Andrade Acosta

Luis Rosales-Romero

Flor Omar


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.47722030816>

CAPÍTULO 17..... 190

USO DE LA SIMULACIÓN COMPUTACIONAL EN CIENCIA DE MATERIALES PARA LA PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO CINÉTICO Y MICROESTRUCTURAL DE ALEACIONES BINARIAS Y TERNARIAS

Susana Lezama Alvarez

Víctor Manuel López Hirata

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.47722030817>

CAPÍTULO 18..... 198


LAS PATINETAS ELÉCTRICAS, ¿SIMPLE DIVERSIÓN O APOORTE A LA MOVILIDAD?

Carlos Augusto Kaffure Ruiz

Juan Guillermo Zuluaga Villermo

Claudia Uribe Kaffure

Andrés Ernesto Francel Delgado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.47722030818>

SOBRE O ORGANIZADOR 211

ÍNDICE REMISSIVO..... 212

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UN PROCESO DE SECADO DE MADERA UTILIZANDO DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Data de aceite: 04/07/2022

Ramón Ángel Pons Murguía

Eulalia María Villa González del Pino

RESUMEN: El presente trabajo es el resultado de una investigación realizada para optimizar el consumo de energía en un proceso secado de madera, utilizando la estrategia de diseño experimental denominada Metodología de Superficies de Respuesta (RSM). Los parámetros significativos del proceso fueron identificados mediante el Análisis de Varianza (ANOVA). La determinación de los valores óptimos de estos parámetros, permitió obtener ahorros significativos y una disminución del reproceso mediante la reducción del índice de consumo de vapor.

PALABRAS CLAVE: Diseño de experimentos, índice de consumo, humedad relativa, proceso de secado.

OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION IN A WOOD DRYING PROCESS USING DESIGN OF EXPERIMENTS

ABSTRACT: The present work is the result of a research carried out to optimize energy consumption in a drying wood process, using the experimental design strategy called Response Surface Methodology (RSM). The significant parameters of the process were identified through the Analysis of Variance (ANOVA). The

determination of its optimal parameters values allowed obtaining significant savings and a reduction of the rework by reducing the rate of steam consumption.

KEYWORDS: Design of experiments, consumption index, relative humidity, drying process

1 | INTRODUCCIÓN

La madera es un tejido vivo que comienza a degradarse desde la tala, por lo que es fundamental alcanzar un nuevo equilibrio con el medio para garantizar un producto útil y duradero. Desde este punto de vista, la calidad y la duración del producto, están en relación directa con el proceso de secado que ha sufrido la misma.

Para llevar a cabo el proceso de secado, básicamente se calienta aire hasta temperaturas cercanas a los 190°C y se aprovecha el potencial térmico para evaporar y absorber la humedad presente en la madera. Para realizar dicho calentamiento, son varias las fuentes primarias y secundarias de energía utilizadas, pero las más frecuentes son el vapor sobrecalentado, el gas natural y las resistencias eléctricas.

La optimización del consumo energético de este proceso no sólo disminuye el porcentaje de reproceso, sino que impacta directamente en la reducción del costo de producción, lo cual mejora la competitividad de las empresas en un mercado cada vez más exigente.

El sistema de secado utiliza vapor generado en una caldera de 800 BHP, que circula por un intercambiador de calor y mediante flujo cruzado, se calienta el aire hasta valores de temperatura entre 172 y 200°C. El aire entra en contacto directo con la madera que es alimentada por operarios y movida a través del secador mediante un transportador de rodillos.

El operador tiene la facultad de graduar dos niveles de temperatura, de acuerdo con el rango anteriormente mencionado, y modificar la velocidad de avance de la madera a través del equipo, de acuerdo con la experiencia y el porcentaje de resecado que habitualmente se encuentra entre el 50 y el 60%, es decir, más de la mitad de la madera que entra al proceso de secado, debe ser reprocesada.

El sistema tiene otra variable que es fundamental, la humedad. Cuando el aire internamente comienza a saturarse, un sensor de humedad relativa envía una señal de control a un dâmpner que se abre completamente y mediante el tiro natural del secadero, evacúa el aire que ya ha disminuido su temperatura y ha aumentado su humedad relativa. Estos valores de humedad usualmente son ajustados en dos niveles: 30 ó 40%. La Figura No. 1 muestra el esquema del proceso de secado.

De esta forma, el secado es un proceso cerrado de aire, con control sobre la velocidad de avance del material, la humedad relativa y la temperatura del aire presente en la cámara de secado.

La optimización del consumo energético de este proceso no sólo disminuiría el porcentaje de reproceso, sino que impactaría directamente en la reducción del costo de producción, lo cual mejoraría la competitividad de las empresas en un mercado cada vez más exigente.

2 | METODOLOGÍA

2.1 Análisis del desempeño del secadero

Son muchos los factores que preocupaban a los ingenieros de producción de esta planta:

- 1) El consumo de gas natural: la fuente primaria de energía para el calentamiento del agua y la posterior generación de vapor es el gas natural. La planta tenía un gasto de aproximadamente USD 80 000 mensuales sólo en gas natural para las calderas, en el momento que se inició esta investigación.
- 2) El porcentaje de madera resecada: oscilaba entre el 50 y el 60%, lo que constituye un valor bastante alto, considerando que se gasta energía en secar la madera, pero ésta debe reingresar a otro secadero para poder terminar el secado.
- 3) La productividad del sistema de secado: debido a que el porcentaje de resecado era alto, entre 50 y 60%, la productividad del sistema requería ser elevada.

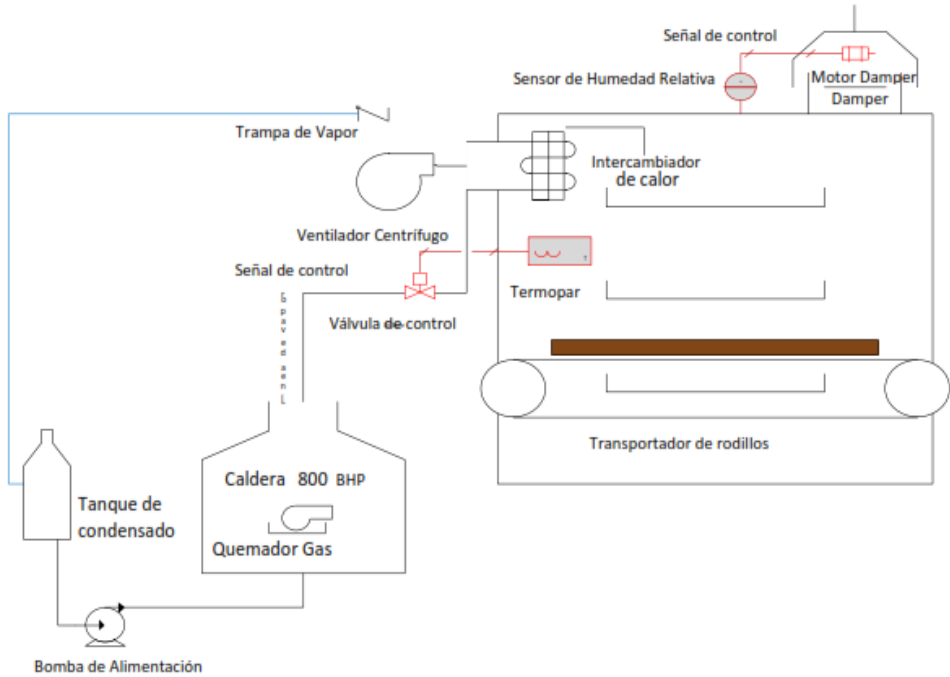


Figura No.1 Esquema del proceso de secado

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se llegó a la conclusión de que una forma de involucrar todos los aspectos que resultaban de interés para los ingenieros de planta, era considerar el índice de consumo de libras de vapor por metro cúbico de madera seca. De esta forma, al hacer mínimo el consumo de vapor, éste índice se reduciría; al minimizar el porcentaje de resecado la productividad aumentaría, y consecuentemente, el volumen de madera seca también lo haría, bajando nuevamente el indicador. En este caso, este indicador es una característica del tipo “El menor es mejor”.

El análisis anterior condujo a la determinación de realizar una caracterización energética del secadero, con vistas a determinar los valores de sus parámetros de operación, para reducir los índices de consumo de vapor y el reproceso.

2.2 Caracterización energética del secadero

Resulta interesante que este sistema fue objeto de una caracterización energética, cuya duración fue dos meses, que determinó que el índice de consumo crítico se encontraba alrededor de 2 446 Lb de vapor/m³ de madera seca, para valores altos del volumen de producción. Estos resultados se muestran en la figura 2.

Esta caracterización reveló que el volumen de la producción crítica fue de 37 m³ de madera seca por turno, y que cuando se obtuvo ese nivel de producción, no hubo variaciones significativas en el índice de consumo, por lo que el proceso resultó ser

más eficiente. Sin embargo, no fue posible determinar las condiciones de operación que condujeran a la obtención de este indicador de manera sistemática.

La pregunta fue entonces, ¿cómo lograr esos niveles de producción?, en este sentido, se llegó a la conclusión de que el diseño de experimentos podría ofrecer resultados muy importantes que soportaran la caracterización energética.

2.3 Diseño del Experimento

El diseño de experimentos (DOE) es una herramienta eficaz para maximizar la cantidad de información obtenida de un estudio, al tiempo que se minimiza la cantidad de datos recopilados (Kwak, 2005), (Montgomery, 2013), (Pons y Villa, 2016).

En la investigación realizada, se empleó el diseño de experimentos para hallar cuál debía ser la combinación de los valores de las variables de control del proceso que condujeran al rendimiento óptimo del sistema. El experimento se diseñó con las siguientes variables:

VARIABLES CONTROLADAS:

- Temperatura interna en la cámara de secado.
- Humedad relativa de accionamiento del dámper de extracción de aire saturado.
- Velocidad de avance del material a través del secadero.
- Tipo de madera a secar.

Variación del índice de Consumo vs Producción
 $IC = 1.874,28 + 21.153 / P$ [Libras vapor / m³]

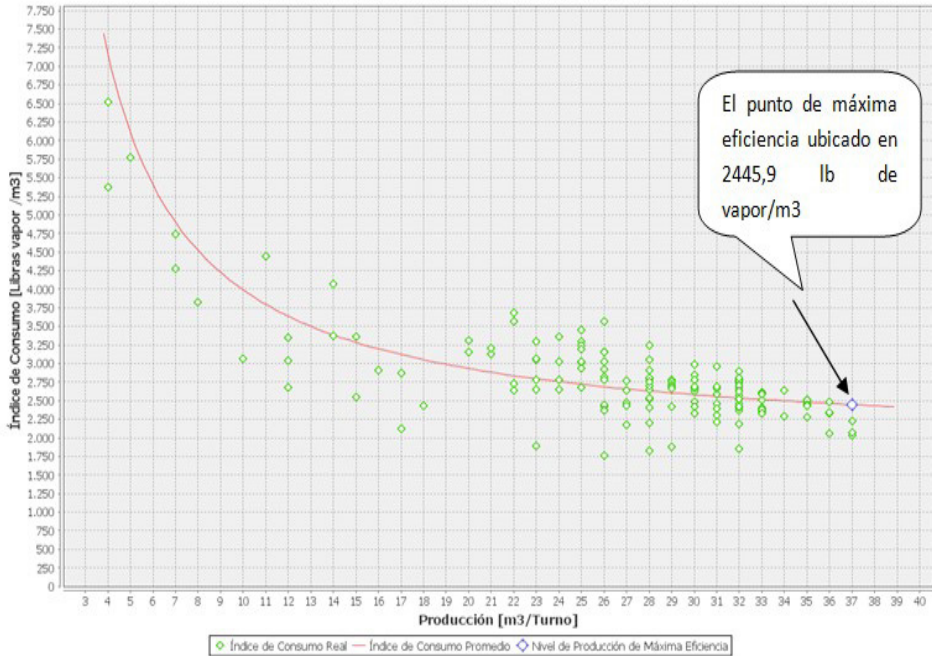


Figura No.2 Diagrama del índice de consumo (IC) vs Producción (P)

Variables no controladas:

- Condiciones ambientales.
- Temperatura de entrada de la madera.
- Humedad de la madera a la entrada del secadero.
- Velocidad de extracción de gases saturados.
- Geometría de la cámara de secado.
- Velocidad del flujo de aire caliente dentro de la cámara de secado.
- Presión de vapor a la entrada del intercambiador de calor.

La corrida del experimento se realizó manteniendo fijo el tipo de madera (cativo) y variando las otras tres variables controladas. Se consideraron tres niveles, alto, medio y bajo, para cada variable, en correspondencia con los rangos de operación del proceso que fueron empleados para efectuar su caracterización energética. Estos niveles se muestran en la Tabla 1.

Variable de control	Nivel bajo (-1)	Nivel medio (0)	Nivel alto (+1)
Temperatura	172 °C	186 °C	200 °C
Humedad relativa	30%	35%	40%
Velocidad de avance	10 m/s	14 m/s	18 m/s

Tabla 1 Niveles de las variables de control

Los estudios realizados por Kowalski y Pawłowski (2011),, recomiendan la exploración de modelos de segundo orden para definir la relación entre el índice de consumo energético y las variables de proceso que lo hacen variar de manera significativa. Tomando en consideración lo anterior, se decidió la exploración de una superficie de respuesta, haciendo variar las variables de control en los niveles establecidos.

La metodología de superficie de respuesta (RSM) es una colección de métodos estadísticos y matemáticos que son útiles para modelar y analizar problemas de ingeniería. Esta cuantifica la relación entre los variables de entrada y de proceso controlables con las variables de respuesta obtenidas (Kwak, 2005), (Pons y Villa, 2016).

El procedimiento de diseño de la metodología de superficie de respuesta es el siguiente (Montgomery, 2013):

- I. Diseño de una serie de experimentos para la medición adecuada y confiable de la respuesta de interés.
- II. Desarrollo de un modelo matemático de la superficie de respuesta, de segundo orden, con los mejores ajustes.
- III. determinación del conjunto óptimo de valores de las variables experimentales.

En la presente investigación, el objetivo fue determinar el conjunto de valores de las variables de control que permitiera optimizar el índice de consumo de vapor del proceso de secado. Se empleó un diseño Box-Behnken por ser éste eficiente para instalar polinomios de segundo orden en superficies de respuesta. Con menos puntos y menos costo que los diseños compuestos centrales y otras estrategias experimentales con el mismo número de factores, el diseño asegura que todos los parámetros del proceso operen en un nivel que no afecte la seguridad de las personas y las instalaciones. Los experimentos se realizaron de acuerdo con una matriz de diseño de 15 corridas del diseño de Box Behnken.

Los experimentos se realizaron de acuerdo con la matriz del diseño Box-Behnken, en orden aleatorio para evitar un error estadístico en los análisis, debido a la acción de variables no controlables. La adecuación del modelo también se comprobó mediante el Análisis de Varianza (ANOVA). La optimización numérica de los parámetros de operación del proceso se realizó mediante el uso del software Statgraphics V. 16 (Stat Point, 2011).

Para estudiar los efectos de las variables controlables del proceso (X1: temperatura, X2: humedad relativa, X3: velocidad de secado) sobre la variable de respuesta Y (índice de

consumo de vapor) fue ajustado el modelo siguiente:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_1 X_2 + b_5 X_1 X_3 + b_6 X_2 X_3 + b_7 X_1^2 + b_8 X_2^2 + b_9 X_3^2 + \text{Error (1)}$$

3 | RESULTADOS

3.1 Análisis estadístico de las corridas experimentales

Los resultados de las corridas del experimento se muestran en la Tabla No. 2.

Corrida	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad (m/min)	Índice de consumo (lb vapor/m³)
1	172,0	30,0	14,0	2642,5
2	200,0	30,0	14,0	2963,3
3	172,0	40,0	14,0	2552,6
4	200,0	40,0	14,0	2887,3
5	172,0	35,0	10,0	2630,6
6	200,0	35,0	10,0	2942,3
7	172,0	35,0	18,0	2569,5
8	200,0	35,0	18,0	2895,2
9	186,0	30,0	10,0	2829,7
10	186,0	40,0	10,0	2622,3
11	186,0	30,0	18,0	2505,9
12	186,0	40,0	18,0	2595,7
13	186,0	35,0	14,0	2519,2
14	186,0	35,0	14,0	2525,9
14	186,0	35,0	14,0	2541,5

Tabla No. 2 Resultados de las corridas experimentales

Ejecutando Stat Graphics Centurion XV, se encuentran los efectos estimados de los factores sobre el índice de consumo. Los resultados se resumen en la Tabla No. 2.

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	2683,37	2,11909	
A:Temperatura	324,0	5,1907	1,0
B:Velocidad	-59,05	5,1907	1,0
C:Humedad Relativa	-81,65	5,1907	1,0
Errores estándar basados en el error puro con 3 g.l.			

Tabla No. 2. Efectos estimados para Índice de Consumo

La tabla anterior muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Se debe anotar que el factor de inflación de varianzas (V.I.F.) más grande, es igual a 1,0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1.

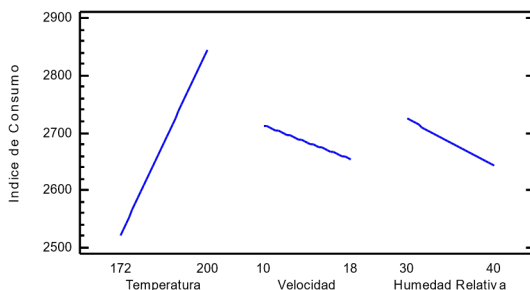


Figura No.3 Gráfica de efectos principales para el IC

Como se puede observar en la Figura No. 3, los 3 efectos son significativos, siendo la temperatura el más importante de todos.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	ValorP
A:Temperatura	209952,	1	209952,	3896,18	0,0000
B:Velocidad	6973,8	1	6973,8	129,42	0,0015
C:Humedad Relativa	13333,4	1	13333,4	247,43	0,0006
Falta de ajuste	147542,	5	29508,4	547,60	0,0001
Error puro	161,66	3	53,8867		
Total (corr.)	377963,	11			

R-cuadrada = 60,9211 por ciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 46,2666 por ciento
Error estándar del est. = 7,34075
Error absoluto medio = 104,311
Estadístico Durbin-Watson = 0,461638 (P=0,0005)
Autocorrelación residual de Lag 1 = 0,655266

Tabla No. 3. ANOVA

Para el análisis de varianzas, se excluyeron las interacciones entre factores porque no son significativas.

En este caso, los tres efectos tienen un valor-P menor que 0,05, lo que indica que son significativos.

Dado que el valor-P para la falta de ajuste en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una falta de ajuste estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95,0%. Esto significa que el modelo así ajustado no representa adecuadamente a los datos.

Se procede entonces a expandir en estrella el experimento, los resultados de las corridas se muestran en la Tabla No. 4

Se corre nuevamente en análisis del experimento y se encuentran las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Nótese también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1,01684. Los resultados se resumen en la Tabla No. 5.

TEMP [°C]	VEL		IC [lbs Vapor/m ³ secos]
	[m/min]	%HR	
160,4	14,0	35,0	2874,9
211,6	14,0	35,0	3512,1
		35,0	
186,0	6,7		2649,3
186,0	21,3	35,0	2505,9
		25,9	
186,0	14,0		2697,2
186,0	14,0	44,1	2544,7
		35,0	
186,0	14,0		2541,9
186,0	14,0	35,0	2541,5
		35,0	
186,0	14,0		2519,2
186,0	14,0	35,0	2525,9

Tabla No. 4 Resultado de las corridas del nuevo experimento

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	2529,44	3,38483	
A:Temperatura	335,37	5,00416	1,0
B:Velocidad	-67,9107	5,00412	1,0
C:Humedad Relativa	-82,5035	5,00413	1,0
AA	395,571	4,27409	1,01684
BB	26,0191	4,27396	1,01684
CC	52,0293	4,27399	1,01684
bloque	7,89734	3,17843	1,0
Errores estándar basados en el error puro con 6 g.l.			

Tabla No. 5 Efectos estimados para IC

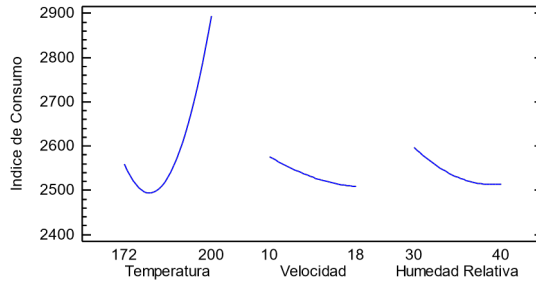


Figura No.4 Gráfica de efectos principales para el IC

En la figura No. 4 se puede observar que los efectos son de orden cuadrático y todos son significativos.

Se ejecuta entonces en ANOVA para el nuevo modelo, los resultados se muestran en la Tabla No. 6.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gf	Cuadrado Medio	Razón-F	ValorP
A:Temperatura	412395,	1	412395,	4491,44	0,0000
B:Velocidad	16910,2	1	16910,2	184,17	0,0000
C:Humedad Relativa	24958,4	1	24958,4	271,82	0,0000
AA	786482,	1	786482,	8565,67	0,0000
BB	3402,9	1	3402,9	37,06	0,0009
CC	13606,8	1	13606,8	148,19	0,0000
bloques	340,189	1	340,189	3,71	0,1026
Falta de ajuste	1590,99	8	198,874	2,17	0,1810
Error puro	550,908	6	91,8179		
Total (corr.)	1,24512E6	21			

R-cuadrada = 99,828 por ciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,7592 por ciento
Error estándar del est. = 9,58217
Error absoluto medio = 8,70246
Estadístico Durbin-Watson = 2,21505 (P=0,4780)
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,143384

Tabla No. 6. ANOVA

En este caso, 6 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

Dado que el valor-P para la falta de ajuste en la Tabla No. 6 es mayor que 0,05, el modelo parece ser adecuado para los datos observados al nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99,828% de la variabilidad en Índice de Consumo. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99,7592%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los

residuos es 9,58217. El error medio absoluto (MAE) de 8,70246 es el valor promedio de los residuos.

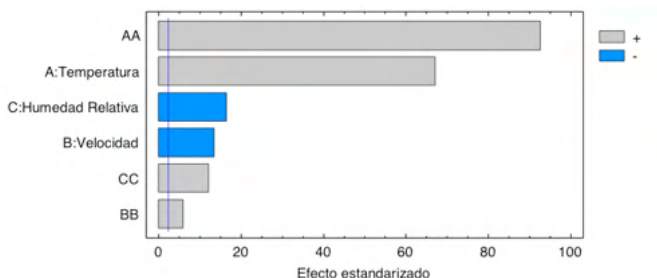


Figura No. 5 Diagrama de Pareto estandarizada para IC

Como se puede observar, son significativos los efectos de los factores y sus cuadrados. Las interacciones entre factores fueron excluidas.

Se procede a buscar el camino de máximo ascenso, los resultados se muestran en la Tabla No. 7.

			<i>Predicción para</i>
Temperatura (°C)	Velocidad (m/min)	Humedad Relativa (%)	Índice de Consumo (lbs Vapor/m³ Secos)
186,0	14,0	35,0	2529,44
181,328	14,5	35,723	2486,05
180,285	15,0	36,3733	2476,91
180,09	15,5	36,9507	2470,86
180,06	16,0	37,4554	2466,19
180,057	16,5	37,8873	2462,61
180,057	17,0	38,2463	2459,94
180,057	17,5	38,5326	2457,99
180,057	18,0	38,746	2456,65

Tabla No. 7 Camino de Máximo Ascenso para Índice de Consumo

La Tabla No. 7 despliega el trayecto de máximo descenso. Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales.

El programa también calcula el Índice de Consumo estimado en cada uno de los puntos del trayecto, con los cuales pueden compararse los resultados una vez corridos los ensayos.

Usando el Software se optimiza la respuesta minimizando el Índice de Consumo.

Valor óptimo = 2458,94

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	160,44	200,0	179,925
Velocidad	6,69703	18,0	18,0
Humedad Relativa	25,8713	40,0	38,5343

Tabla No. 8 Resultados de optimización de la respuesta

La tabla No. 8 muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual minimiza el Índice de Consumo sobre la región indicada.

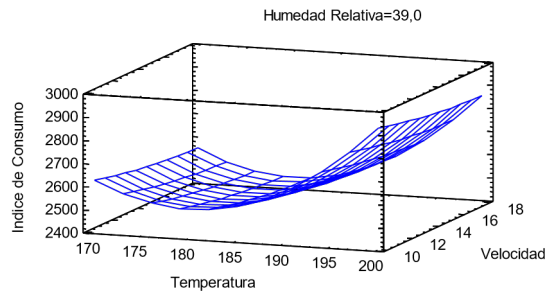


Figura No. 6 Superficie de respuesta estimada

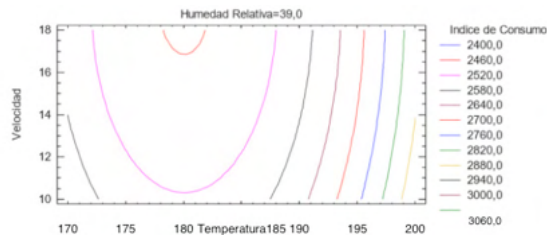


Figura No. 7 Contornos de superficie de respuesta estimada

3.2 Verificación de resultados

Debido a que actualmente solo se tienen dos niveles para cada factor, fue necesario modificar los valores de set point en los controladores del sistema.

Se procedió a efectuar 3 ensayos en los puntos óptimos para verificar resultados. Los valores se muestran en la Tabla No. 9

TEMP [°C]	VEL [m/min]	%HR	IC [lbs Vapor/m3 secos]
179,9	18	38,5	2461,0
179,9	18	38,5	2459,3
179,9	18	38,5	2446,6

Tabla No. 9 Resultados de ensayos de verificación

Los valores encontrados son muy cercanos al estimado, por lo que se considera exitoso el experimento y sus predicciones.

4 | CONCLUSIONES

Comparando el valor óptimo para el índice de consumo encontrado a través del diseño de experimentos con respecto al calculado con la caracterización del proceso, se puede observar que son casi iguales, por lo tanto podemos concluir que el diseño de experimento permitió identificar el valor que deben tener las variables de control del proceso para obtener su punto de operación óptimo.

Resulta interesante este hallazgo, teniendo en cuenta que la caracterización utilizó valores históricos durante 365 días para un total de 1095 muestras, mientras que el diseño de experimentos usó valores puntuales para llegar al mismo resultado del mínimo índice de consumo.

Una herramienta dice cual es el mínimo alcanzable, mientras que la otra no solo entrega esa información, sino que explica cómo hacerlo.

REFERENCIAS

[1] Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2nd ed, Arizona, Ed. Limusa Wiley.2004.

[2] Base de datos de variables de operación y producción de la secadora.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Actividades extracurriculares 150, 151, 156, 158, 159, 160, 161, 162

Agentes inteligentes 77

Aprovechamiento 65, 77, 78, 79, 97, 99, 100, 103, 198

B

Biorremediación 89, 90, 91

C

Calentamiento global 17

Cambio climático 97, 98, 99, 105

Classroom 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 147, 148, 149

Competencias profesionales 107, 111, 112, 117, 118, 121, 150, 151, 152, 163, 164

Concrete 1, 6, 47, 64

Consumo de recursos 65

Corriente Directa CD 17

D

Diseño de experimentos 165, 168, 177

E

Educación superior 65, 66, 67, 74, 76, 107, 110, 111, 112, 114, 116, 118, 119, 120, 121, 162

Electroválvulas 77, 81, 83, 84, 85, 87

Emisiones de Co2 102, 103

Estado del arte 198, 199

F

Fiber 1, 6

Flujo de materiales 65

Formación tecnológica 66, 67, 72, 107, 115

G

GEI 97, 99, 101, 105

Geotermia somera 97, 98, 100, 101, 103, 104, 105

H

Hongos 89, 90, 91, 96

Humedad relativa 3, 165, 166, 168, 170, 171, 173, 176

I

Índice de consumo 165, 167, 169, 170, 171, 174, 175, 176, 177

Ingeniería industrial 8, 33, 44, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 157, 178

L

Lógica difusa 80, 84

M

Motor jaula de ardilla 26

Motor síncrono 26, 27, 28, 29, 30, 31

Motor trifásico 26

Movilidad 92, 191, 194, 198, 199, 200, 204, 206

Movilidad eléctrica 198, 199

O

Observation 137, 138, 139, 140, 148

P

Patinetas eléctricas 198, 199, 200, 202, 210

Pensamiento numérico 122, 135

Pensamiento variacional 122, 123, 135, 136

Petróleo 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95

Plan por competencias 150, 151, 156, 159

Polypropylene 1, 6

Prelosa- preesforzada 46

Proceso de secado 165, 166, 167, 170

Q

Qualitative research 137, 149

R

Radiación 17, 20, 23, 24

Reciclaje 65, 73

Reinforced 1, 6, 7, 47

Resolución de problemas 122, 123, 124, 132, 133, 134, 135

Reutilización 65, 73, 74, 77, 79, 83, 84, 85, 86, 204

S


Sensores de nivel 77, 81, 82, 85


Solar 17, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 75

Students 122, 123, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 150



Entre
CIENCIA
e
INGENIERIA
3


www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 


Ano 2022



Entre

CIENCIA

e

INGENIERIA

3

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 


Ano 2022