

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA

(Organizador)

INGENIERÍAS *EN PERSPECTIVA*

ciencia, tecnología e innovación

2

Atena
Editora
Año 2024

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA

(Organizador)

INGENIERÍAS EN PERSPECTIVA

ciencia, tecnología e innovación

2

Atena
Editora
Año 2024

Editora jefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora ejecutiva

Natalia Oliveira

Asistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecario

Janaina Ramos

Proyecto gráfico

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Imágenes de portada

iStock

Edición de arte

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Derechos de autor © Atena Editora

Derechos de autor del texto © 2024

Los autores

Derechos de autor de la edición ©

2024 Atena Editora

Derechos de esta edición concedidos a Atena Editora por los autores.

Publicación de acceso abierto por Atena Editora



Todo el contenido de este libro tiene una licencia de Creative Commons Attribution License. Reconocimiento-No Comercial-No Derivados 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

El contenido de los artículos y sus datos en su forma, corrección y confiabilidad son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no representan necesariamente la posición oficial de Atena Editora. Se permite descargar la obra y compartirla siempre que se den los créditos a los autores, pero sin posibilidad de alterarla de ninguna forma ni utilizarla con fines comerciales.

Todos los manuscritos fueron previamente sometidos a evaluación ciega por pares, miembros del Consejo Editorial de esta editorial, habiendo sido aprobados para su publicación con base en criterios de neutralidad e imparcialidad académica.

Atena Editora se compromete a garantizar la integridad editorial en todas las etapas del proceso de publicación, evitando plagios, datos o entonces, resultados fraudulentos y evitando que los intereses económicos comprometan los estándares éticos de la publicación. Las situaciones de sospecha de mala conducta científica se investigarán con el más alto nivel de rigor académico y ético.

Consejo Editorial**Ciencias Exactas y de la Tierra e Ingeniería**

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

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

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

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Ingenierías en perspectiva: ciencia, tecnología e innovación 2

Diagramación: Ellen Andressa Kubisty
Corrección: Maiara Ferreira
Indexación: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisión: Los autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Datos de catalogación en publicación internacional (CIP)	
l46	<p>Ingenierías en perspectiva: ciencia, tecnología e innovación 2 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acceso: World Wide Web Inclui bibliografía ISBN 978-65-258-2615-8 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.158241907</p> <p>1. Ingeniería. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620</p>
Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARACIÓN DE LOS AUTORES

Los autores de este trabajo: 1. Certifican que no tienen ningún interés comercial que constituya un conflicto de interés en relación con el artículo científico publicado; 2. Declaran haber participado activamente en la construcción de los respectivos manuscritos, preferentemente en: a) Concepción del estudio, y/o adquisición de datos, y/o análisis e interpretación de datos; b) Elaboración del artículo o revisión para que el material sea intelectualmente relevante; c) Aprobación final del manuscrito para envío; 3. Acreditan que los artículos científicos publicados están completamente libres de datos y/o resultados fraudulentos; 4. Confirmar la cita y la referencia que sean correctas de todos los datos e interpretaciones de datos de otras investigaciones; 5. Reconocen haber informado todas las fuentes de financiamiento recibidas para la realización de la investigación; 6. Autorizar la publicación de la obra, que incluye las fichas del catálogo, ISBN (Número de serie estándar internacional), D.O.I. (Identificador de Objeto Digital) y demás índices, diseño visual y creación de portada, maquetación interior, así como su lanzamiento y difusión según criterio de Atena Editora.

DECLARACIÓN DEL EDITOR

Atena Editora declara, para todos los efectos legales, que: 1. Esta publicación constituye únicamente una cesión temporal del derecho de autor, derecho de publicación, y no constituye responsabilidad solidaria en la creación de manuscritos publicados, en los términos previstos en la Ley. sobre Derechos de autor (Ley 9610/98), en el artículo 184 del Código Penal y en el art. 927 del Código Civil; 2. Autoriza y estimula a los autores a suscribir contratos con los repositorios institucionales, con el objeto exclusivo de difundir la obra, siempre que cuente con el debido reconocimiento de autoría y edición y sin fines comerciales; 3. Todos los libros electrónicos son de acceso abierto, por lo que no los vende en su sitio web, sitios asociados, plataformas de comercio electrónico o cualquier otro medio virtual o físico, por lo tanto, está exento de transferencias de derechos de autor a los autores; 4. Todos los miembros del consejo editorial son doctores y vinculados a instituciones públicas de educación superior, según recomendación de la CAPES para la obtención del libro Qualis; 5. No transfiere, comercializa ni autoriza el uso de los nombres y correos electrónicos de los autores, así como cualquier otro dato de los mismos, para fines distintos al ámbito de difusión de esta obra.

O e-book: “Ingenierías em perspectiva ciência, tecnologia e innovación 2” consta de diez capítulos de libros, divididos em cuatro áreas: i) desarrollo de aplicaciones y *software* para diferentes aplicaciones; ii) sistemas integrados de planificación y control de proyectos em construcción y gestión de áreas; iii) desarrollo de nanocompuestos para la industria emvasado de alimentos y automoción y; iv) uso de biomasa y degradación del polietileno.

El capítulo 1 investigó la implementación del uso de una calculadora capaz de determinar el tamaño de nanocristales com base em la ecuación de Scherrer a través de una plataforma instalada em un programa Android. Los autores consideraron que la herramienta es muy portátil y fácil de usar por los usuarios y que puede utilizarse em el proceso de enseñanza-aprendizaje de la ciencia e ingeniería de materiales. El segundo capítulo propuso la aplicación de la Fórmula SAE em la Gestión de proyectos em sus diferentes dimensiones y em el conocimiento de las técnicas de Lean Manufacturing, presentando buenos resultados y aplicaciones para el propósito propuesto.






El capítulo 3 estudió la capacidad de las pequeñas y medianas empresas del sector de la construcción, em relación con su habilidad para investigar y desarrollar sus procesos técnico-administrativos. Los investigadores concluyeron que el desarrollo y aplicación de herramientas digitales son capaces de facilitar y optimizar el trabajo, basándose em el desarrollo de *software* denominado TitanWfi y ControlWfi. El cuarto capítulo buscó determinar los factores capaces de generar respuesta sísmica em una edificación híbrida (núcleos de concreto armado y columnas de madera laminada y losas contralaminadas) utilizando una herramienta computacional denominada FEMA 356, los resultados arrojaron que la edificación satisface las condiciones analizadas para Cuestiones sísmicas aplicadas al edificio analizado. El Capítulo 5 evaluó el manejo de cuencas ubicadas em la Provincia de Salta ubicadas em la región del Valle de Lema em Argentina, presentando un proyecto de manejo de escorrentía superficial que contempla la construcción de siete presas de detención que funcionarían como una barrera de contención, con el fin de evitar daños. a infraestructura vial y almacenar agua para riego durante el resto del año.

Los capítulos 6 a 8 presentaron trabajos de revisión de literatura que investigaron, respectivamente, las propiedades del policarbonato em aplicaciones de ingeniería, nanocompuestos poliméricos aplicados em la fabricación de envases para alimentos y como retardantes de llama em la composición de componentes para la industria automotriz. Los autores concluyeron que se puede utilizar una diversidad de compuestos poliméricos y nanocompuestos para proporcionar una variedad de propiedades que se pueden aplicar em las áreas de la ingeniería, la alimentación y la industria automotriz.

El Capítulo 9 investigó el potencial del uso del bagazo de caña de azúcar para la producción de bioplásticos y productos más ecológicamente sustentables. Los estudios mostraron que el uso de biorresiduos permitirá una mayor diversificación del sector azucarero y alcohol venezolano, debido al uso y valor de agregación de los residuos vegetales. . Finalmente, el décimo capítulo investigó la degradación de plásticos de baja densidad por el hongo de la especie *Aspergillus Niger*, los resultados demostraron que *Aspergillus* tiene una enorme capacidad para degradar el contaminante, ya que el organismo se encuentra en abundancia en la naturaleza y presenta condiciones para ser bajo costo.

Desde esta perspectiva, Atena Editora viene trabajando para estimular e incentivar cada vez más investigadores de Brasil y de otros países a publicar sus trabajos con calidad y excelencia garantizadas en forma de libros, capítulos de libros y artículos científicos, siendo el presente trabajo compuesto por trabajos por investigadores de diferentes instituciones educativas ubicadas en países ubicados en Sur y Centroamérica.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

CAPÍTULO 1	1
DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO ANDROID PARA CALCULAR O TAMANHO DE NANOCRISTAIS	
Erasto Vergara Hernández León Loa Pelcastre Irving Mendoza Paz	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.1582419071	
CAPÍTULO 2	11
FÓRMULA SAE UNIMET: UN MODELO DE GESTIÓN DE PROYECTOS PARA EQUIPOS DE ALTO RENDIMIENTO	
Siro Tagliaferro Gunther Baumgartner Sergio Nunes	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.1582419072	
CAPÍTULO 3	32
SISTEMA INTEGRAL PARA LA PLANEACIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS PARA LAS PYMES DE CONSTRUCCIÓN	
González F., José A Zaragoza G., Nicolás Álvarez R., Sergio O. Alcudia V., Carlos Díaz R., José	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.1582419073	
CAPÍTULO 4	54
FACTOR DE MODIFICACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL PARA EDIFICIO HÍBRIDO ESTRUCTURADO EN HORMIGÓN ARMADO Y ELEMENTOS DE MADERA LAMINADA Y CONTRALAMINADA	
B. Romero S. Silva P. González J. Vielma	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.1582419074	
CAPÍTULO 5	65
PROYECTO INTEGRAL DE MANEJO DE CUENCAS EN 1.670 HECTÁREAS CON INFLUENCIA EN LA RUTA PROVINCIAL 23 - PROVINCIA DE SALTA	
Marcelo Daniel Arzelán Silvana Alejandra Castrillo Javier Ramos Vernieri	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.1582419075	
CAPÍTULO 6	83
EXPLORANDO EL POLICARBONATO: UN ANÁLISIS DE SUS PROPIEDADES	

Y APLICACIONES EN INGENIERÍA

S. Sanchez-Valdes
 J. Lara-Sanchez
 J. Torres-González
 A.B. Espinoza-Martínez
 J.A. Rodriguez-Gonzalez
 A. Herrera-Guerrero
 K.F. Rodriguez-Ramirez
 L. da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1582419076>

CAPÍTULO 789**NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS PARA APLICACIONES EN EMPAQUES DE ALIMENTOS: UNA REVISIÓN**

S. Sánchez-Valdés
 A. Rodríguez-González
 J. Torres-González
 A.D. García-Montenegro
 C. Gómez-Rodríguez
 I.L. González-Maldonado
 P. A. Espinoza-Martinez
 A.B. Espinoza-Martinez
 A. Herrera-Guerrero
 L. Da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1582419077>

CAPÍTULO 8 103**NANOCOMPÓSITOS CON PROPIEDADES DE RETARDANCIA A LA FLAMA PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**

S. Sanchez-Valdés
 A.E. Olvera-Ramos
 D. Izquierdo-Duarte
 B.N. Rosales-Guzmán
 O. Vargas-Franco
 A.B. Espinoza-Martínez
 A. Hererra Guerrero
 J. Torres-González
 O.C. Reyna
 L. Da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1582419078>

CAPÍTULO 9119**TRANSFORMANDO EL BAGAZO EN VALOR: DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA BIOPLÁSTICO DE CAÑA DE AZÚCAR**


Siro Tagliaferro
 Gabriel Enrique De Santis Ottati
 María Virginia Temprano Socorro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1582419079>

CAPÍTULO 10..... 145

DEGRADACIÓN DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD POR *ASPERGILLUS NIGER*

Fátima Medina Mercado
Adriana Rodríguez Pérez
Juan Fernando Cárdenas González
Claudia M. Martínez Rodríguez
Ismael Acosta Rodríguez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.15824190710>

ACERCA DEL ORGANIZADOR 153

ÍNDICE REMISIVO 154

DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO ANDROID PARA CALCULAR O TAMANHO DE NANOCRISTAIS

Fecha de envío: 21/06/2024

Fecha de aceptación: 01/07/2024

Erasto Vergara Hernández

Instituto Politécnico Nacional, UPIIH
San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México

León Loa Pelcastre

Tecnológico de Estudios Superiores de
Coacalco
Coacalco de Berriozabal, México

Irving Mendoza Paz

Tecnológico de Estudios Superiores de
Coacalco
Coacalco de Berriozabal, México

RESUMEN: La ecuación de Scherrer es una herramienta ampliamente utilizada para calcular el tamaño promedio de nanocristales mediante la técnica de difracción de rayos X (DRX). En este trabajo se implementa el uso de una calculadora para encontrar el tamaño de nanocristales haciendo uso de la ecuación de Scherrer desarrollándose en la plataforma de programación Android. El diseño de la aplicación se realizó para ser considerada una herramienta portátil, fácil de usar e interactiva con el usuario. Al crearse a través del entorno de Android Studio, la aplicación se puede ejecutar en la mayoría de teléfonos celulares y

tabletas del mercado, transformándose en una herramienta muy potente para su uso en las metodologías de enseñanza de los alumnos de ingeniería de las ciencias de los materiales e ingeniería en nanotecnología.

PALABRAS CLAVE: Difracción de rayos X, ecuación de Scherrer, Android.

ABSTRACT: The Scherrer equation is a widely used tool for calculating the size of nanocrystals using the X-ray diffraction (XRD) technique, through the use of mobile application programming. In this paper, the use of a calculator to find the size of the nanocrystals and the use of the Scherrer equation in the Android programming platform is implemented. The design of the application has become a portable tool, easy to use and interactive. By designing using Android Studio you can run on most cell phones and tablets. The application becomes a very powerful tool for use in teaching methodologies of engineering students of materials science and nanotechnology engineering.

KEYWORDS: X-ray diffraction, Scherrer equation, Android, application

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la enseñanza en el campo de la ingeniería y de la ciencia de los materiales presenta nuevos retos; se deben buscar nuevas alternativas a las metodologías tradicionales de enseñanza que permitan a los alumnos incorporarse activamente al proceso de enseñanza-aprendizaje. Diferentes tipos de metodologías y conceptos se han desarrollado e implementado para llevarse a cabo en el aula: aprendizaje basado en problemas (PBL, por sus siglas en inglés), aprendizaje basado en proyectos, Aprendizaje de Indagación Guiada Orientada a Procesos (POGIL, por sus siglas en inglés), así como también, metodologías para las cuales los docentes se han visto en la necesidad de ir incorporado las herramientas de las tecnologías de la información para mejorar la calidad de la enseñanza.

En años recientes y en respuesta al entorno que viven los jóvenes alumnos con el mundo digital, dónde es frecuente que ellos utilicen los dispositivos móviles para hacer distintas tareas, desde jugar videojuegos portátiles en línea, realizar comunicaciones inalámbricas, hasta desenvolverse en un ambiente de realidad virtual, ha hecho que las instituciones educativas estén atentas a estos cambios y han introducido el uso de los dispositivos móviles en el ambiente del aprendizaje como una herramienta en el proceso de enseñanza.

Para el desarrollo de aplicaciones móviles, el sistema Android presenta varias ventajas para su uso, es un sistema operativo de código abierto, el cual está compuesto principalmente por el núcleo de Linux. Android es usado por una gran cantidad de dispositivos, desde teléfonos celulares hasta tabletas y consolas de videojuegos junto con una amplia gama de otros electrónicos de consumo. Además, el sistema operativo Android está presente en cerca del 70% del mercado de teléfonos inteligentes en todo el mundo, por lo que desarrollar aplicaciones en esta plataforma tiene el potencial de llegar a un gran número de usuarios móviles.

En este trabajo se desarrolla una aplicación en ambiente Android para calcular el tamaño promedio de nanocristales haciendo uso de la técnica de difracción de rayos X.

DESARROLLO

Una de las técnicas fundamentales en la caracterización de materiales es la difracción de rayos X, es una técnica no destructiva que proporciona información fundamental de la estructura del material que se desea estudiar, además de ser una técnica accesible en gran parte de los laboratorios de investigación [1]. La difracción de rayos X es también un método para poder determinar el tamaño de las nanopartículas de los cristales o bien el tamaño de los cristalitas de los nanomateriales. Paul Scherrer, fue el primer científico en investigar el tamaño de la nanopartícula a partir de los patrones de difracción de rayos X publicando sus resultados en 1918 donde se incluía la conocida ecuación de Scherrer [2]. La ecuación es:

$$D_{hkl} = \frac{K\lambda}{\Delta(2\theta)\cos\theta} \quad (1)$$

dónde:

D_{hkl} es el tamaño del cristal

hkl son los índices de Miller de los planos que se estudian.

K es un factor numérico en dependencia del factor de forma del cristal.

λ es la longitud de onda de la fuente de emisión de rayos X.

$\Delta(2\theta)$ es la anchura a medida altura del pico de difracción de rayos X en radianes.

θ es el ángulo de Bragg de la reflexión evaluada.

Además de depender de la forma del cristal, el valor del factor K también depende de la distribución del tamaño y de la manera en que se determina el ancho del pico. Usando la información anterior se considera un valor de $K=0.9$ como una buena aproximación para el cálculo del tamaño del cristal de una forma esférica.

Es importante tener en cuenta que la ecuación de Scherrer solo se puede aplicar para tamaños promedio de cristales de hasta 100–200 nm debido a que el ensanchamiento del pico de difracción disminuye con el aumento del tamaño del cristal, haciéndose difícil separar el ensanchamiento del pico causado por el tamaño del cristal de otros factores que ensanchen el pico.

La aplicación está realizada mediante programación por bloques, en la cual el usuario es capaz de elegir mediante un botón la acción a realizar. El diagrama de flujo de programación se muestra en la Figura 1. Una vez dentro de esta opción el usuario introduce los valores de la ecuación (1) en dependencia del espectrograma de difracción de rayos X del material a estudiar; se presenta un valor por defecto para el valor K el cual usualmente es de 0.9 para formas esféricas, aunque es posible cambiarlo. Una vez ingresados los valores y al presionar el botón de Calcular se obtiene el resultado del tamaño promedio del nanocristal [3-5].

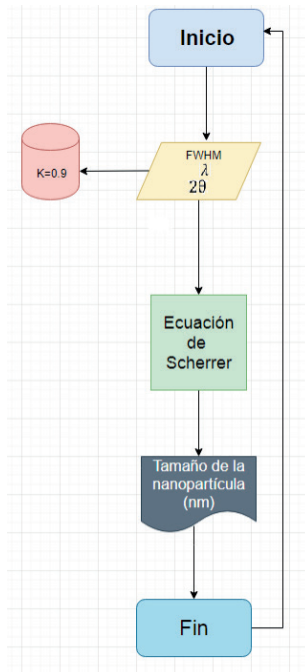


Figura 1 – Diagrama de flujo de la aplicación.

El diagrama de flujo se implementó bajo el entorno de programación de Android Studio, por lo cual se utiliza la programación por medio de bloques y orientada a objetos. En la Figura 2 se muestra la programación realizada para la creación de la pantalla de inicio de la aplicación, y en la Figura 3 se muestra el código de programación para la tarea del cálculo del tamaño del nanocristal.

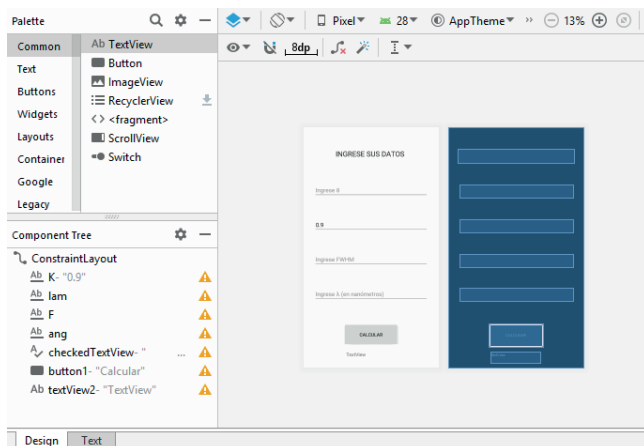


Figura 2 – Ventana de programación para la pantalla de inicio


```

} else if (lam.getText().toString().equals(""))
{
    Toast.makeText(getBaseContext(), "Por favor ingresa todos los datos", Toast.LENGTH_SHORT).show();
} else if (F.getText().toString().equals(""))
{
    Toast.makeText(getBaseContext(), "Por favor ingresa todos los datos", Toast.LENGTH_SHORT).show();
} else if (ang.getText().toString().equals(""))
{
    Toast.makeText(getBaseContext(), "Por favor ingresa todos los datos", Toast.LENGTH_SHORT).show();
} else {
    k = Double.parseDouble(K.getText().toString());
    l = Double.parseDouble(lam.getText().toString());
    f = Double.parseDouble(F.getText().toString());
    a = Double.parseDouble(ang.getText().toString());
    l=l*0.00000001;
    rad=Math.toRadians(a/2);
    rad2=Math.toRadians(f);
    res = ((k * l) / (rad2 * Math.cos(rad)))/0.00000001;

    display = (TextView) findViewById(R.id.textView2);
    display.setText(String.format("o1= %.3f",res)+ " Nanómetros");
    display.setTextColor(Color.parseColor("#ffa31a"));
}

```

Figura 3 – Código de programación para el cálculo del tamaño de nanocrystal

RESULTADOS

En principio, la aplicación se usó para calcular el tamaño de la nanopartícula de ZnO cuyo espectrograma de difracción de rayos X se muestra en la Figura 4, y que corresponde al depósito de películas delgadas de ZnO crecidas por la técnica de rocío pirolítico.

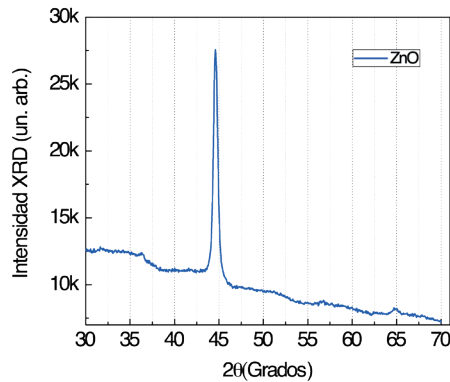


Figura 4 – Espectrograma de DRX de depósito de película delgada de ZnO.

Los datos con los que se programó la ecuación de Scherrer para el espectro de DRX de la Figura 4 se muestran en la Tabla 1. El valor de K se consideró de 0.9, y la longitud de onda para el equipo utilizado es de una emisión de cobre con $\lambda=0.15406$ nm. El ancho medio del pico obtenido en el espectrograma es de 0.5118° , por último el ángulo en el que se presentó el pico está centrado en 44.6186° .

Variable	Valor
K	0.9
λ	0.15406 (nm)
Δ (2 θ)	0.5118 (°)
2 θ	44.6186 (°)

Tabla 1 – Datos para la aplicación de la ecuación de Scherrer

Los datos de la Tabla 1 son ahora introducidos en la aplicación desarrollada, la cual se muestra en la Figura 5, luego se realiza el cálculo en función de los parámetros establecidos y con el uso de la ecuación de Scherrer se obtiene el resultado final que se muestra en la Figura 6 y que da un valor de tamaño de nanocristal para la muestra del espectro DRX de la Figura 4 de 14.76 nm, tal como se muestra en la Figura 6.

The screenshot shows a mobile application interface with a green header 'Ecuación de Scherer'. Below the header, the text 'INGRESE SUS DATOS' is centered. There are four input fields, each with a value and a label to its right:

- Value: 44.6186, Label: 2 θ
- Value: 0.9, Label: K
- Value: .5118, Label: FWHM
- Value: 0.15406, Label: Longitud de onda (nm)

At the bottom of the input area is a grey button labeled 'CALCULAR'. The bottom of the screen shows a purple Android navigation bar with back, home, and recent apps icons.

Figura 5 – Pantalla para adquisición de datos



Figura 6 – Pantalla de resultados

La aplicación también se usó para el estudio del cálculo del tamaño de nanocristales de silicio de películas delgadas de nitruro de silicio enriquecido de silicio depositadas de acuerdo al procedimiento detallado en [9].

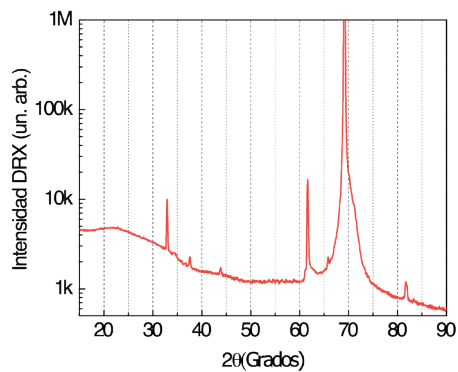


Figura 7 – Espectrograma de DRX de depósito de Nitruro de silicio no estequiométrico [9].

El espectrograma de difracción de rayos X obtenido se muestra en la Figura 7, para implementar la ecuación de Scherrer se consideró el pico de mayor intensidad, que corresponde al centrado en 69.125°, y aplicando los datos de la Tabla 2 para el correspondiente pico, en la calculadora de tamaño de nanocristales de la Figura 8 se obtuvo un valor de nanocristal de 23.41 nm que corresponde al reportado en [9].

Variable	Valor
K	0.9
λ	0.15406 (nm)
$\Delta (2\theta)$	0.4120 (°)
2θ	69.125 (°)

Tabla 2 – Datos para la aplicación de la ecuación de Scherrer para el espectrograma de la Figura 7.

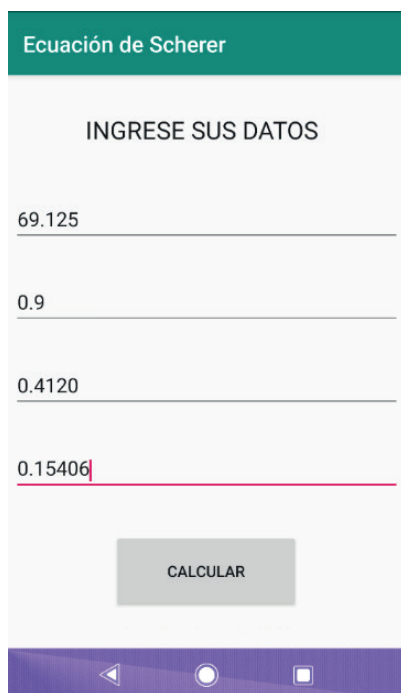


Figura 8 – Pantalla para adquisición de datos

Es importante establecer que el cálculo del tamaño del nanocristal mediante la ecuación de Scherrer es una estimación aproximada y no considera los esfuerzos presentes en el material, sin embargo, es una técnica en la cual los problemas para obtener resultados representativos en el tamaño del nanocristal son menos exigentes que en otras [1].



Figura 9 – Pantalla de resultados

CONCLUSIONES

En este trabajo se desarrolló en el sistema operativo Android una aplicación para dispositivos móviles con el fin de calcular el tamaño promedio de los nanocristales de las estructuras de un sólido a partir del pico de mayor intensidad obtenido a través de un difractograma de rayos X, así como de los parámetros requeridos por la ecuación de Scherrer; la aplicación resulta ser una herramienta potente para su uso en diferentes ambientes, tanto dentro del aula como en los laboratorios de investigación, y dado que el sistema operativo Android, en que se programó, permite una gran adaptabilidad, la aplicación puede implementarse en teléfonos celulares, tabletas y dispositivos móviles llegando de esta manera a una gran cantidad de usuarios por su gran portabilidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional (SIP-IPN) de México (Proyecto 20242596 y Proyecto 20242940) por el apoyo otorgado.

REFERENCIAS

1. U. Holzwarth and N. Gibson, "The Scherrer equation versus the Debye-Scherrer equation;," Nat. Publ. Gr., vol. 6, no. 9, p. 534, 2011.
2. H. Stille, "Aus den Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen," Naturwissenschaften, vol. 17, no. 21, pp. 393–394, 1929.
3. M. Aparicio and G. Carbajal, "Utilidad de la difracción de rayos x en las nanociencias," Mundo Nano, vol. 3, no. 2, pp. 62–72, 2010.
4. X. Li, X. Lian, and F. Liu, "Rear-End Road Crash Characteristics Analysis Based on Chinese In-Depth Crash Study Data," pp. 1536–1545, 2016.
5. R. E. Ted Kroon, "Nanoscience and the Scherrer equation versus the 'Scherrer-Göttingen equation,'" S. Afr. J. Sci., vol. 109, no. 5–6, pp. 5–6, 2013.
6. Amaro Soriano José Enrique, Android programación de dispositivos móviles a través de ejemplos. Marcombo Ediciones técnicas, 2017.
7. Hébuterne Sylvain., Guía de desarrollo de aplicaciones Java para smartphones y Tabletas. Ediciones Eni, Tercera edición.
8. R. Vinodkumar, I. Navas, K. P. Porsezian, N. V Unnikrishnan, and V. P. M. Pillai, "Structural, spectroscopic and electrical studies of nanostructured porous ZnO thin films prepared by pulsed laser deposition," Spectrochim. ACTA PART A Mol. Biomol. Spectrosc., 2013
9. Vergara H. E, "Caracterización óptica y estructural de nanocristales de silicio embebidos en dos matrices: nitruro de silicio y óxido de aluminio". IPN, 2015.

FÓRMULA SAE UNIMET: UN MODELO DE GESTIÓN DE PROYECTOS PARA EQUIPOS DE ALTO RENDIMIENTO

Fecha de aceptación: 01/07/2024

Siro Tagliaferro

Ingeniero de Producción (2012)
Universidad Metropolitana de Caracas,
MBA (2016)
IESA, Ciencia de Datos (2022) UCV,
profesor de tiempo completo en la
Universidad Metropolitana de Caracas
con más de 5 años de experiencia en
Ingeniería de Producción

Gunther Baumgartner

Ingeniero de Producción (2024)
Universidad Metropolitana de Caracas

Sergio Nunes

Ingeniero de Producción (2024)
Universidad Metropolitana de Caracas

RESUMEN: Fórmula SAE es una competencia donde equipos universitarios diseñan, crean y desarrollan un prototipo para una prueba. Esta investigación propone una metodología de gestión de proyectos para equipos de Fórmula SAE UNIMET. Se realizó una encuesta para comprender su enfoque, identificar problemas del proyecto y determinar el conocimiento de las técnicas de Lean Manufacturing. La metodología incluye planificación, control y seguimiento de proyectos, así como documentos de

soporte y técnicas de gestión de proyectos. También se proponen diversas técnicas de Lean Manufacturing y su aplicación.

PALABRAS CLAVE: Formula SAE, gestión de proyectos, PMBOK, *Systems Engineering*, *Lean Manufacturing*.

SAE UNIMET FORMULA: A PROJECT MANAGEMENT MODEL FOR HIGH-PERFORMING TEAMS

ABSTRACT: Fórmula SAE is a competitive competition where university teams design, create, and develop a prototype for a test. This research proposes a project management methodology for Fórmula SAE UNIMET teams. A survey was conducted to understand their approach, identify project problems, and determine knowledge of Lean Manufacturing techniques. The methodology includes project planning, control, and tracking, as well as support documents and project management techniques. Various Lean Manufacturing techniques and their application are also proposed.

KEYWORDS: SAE formula, project management, PMBOK, *Systems Engineering*, *Lean Manufacturing*.

INTRODUCCIÓN

Las competencias de la serie *Formula SAE* desafían a equipos de estudiantes universitarios a diseñar, fabricar, desarrollar y competir con pequeños vehículos tipo fórmula. Las competiciones dan a los equipos la oportunidad de demostrar su creatividad y habilidades ingenieriles frente a equipos de otras universidades de todo el mundo. (SAE international, 2023).

El evento incluye pruebas estáticas y dinámicas para evaluar los conocimientos, procedimientos y razonamientos del equipo en creación de prototipos, gestión de presupuestos y casos de negocios. Fórmula SAE UNIMET, un grupo de estudiantes diseña y construye prototipos desde 2004 para representar a la Universidad Metropolitana. Las consideraciones adicionales incluyen logística, costos de importación, reglas de exportación y reubicación del equipo en Brooklyn, Michigan, lo que requiere una organización administrativa concreta.

Una adecuada administración del proyecto y la aplicación de las técnicas *Lean*, promueve una operación más eficiente y la reducción de “desperdicios”, siendo estos aquellos procesos que utilizan más recursos que los estrictamente necesarios (Hernández et al., 2013, p.6)

A pesar de la trayectoria del equipo de Fórmula SAE UNIMET, no existe registro de una metodología establecida para la organización y gestión del proyecto (comunicación personal con el equipo de Fórmula SAE UNIMET, 2023), por lo que este trabajo presenta la propuesta de la aplicación de técnicas de *Lean Manufacturing* bajo una metodología para la gestión anual del proyecto, considerando las etapas de diseño y manufactura del prototipo, así como los requisitos administrativos, financieros y logísticos que son necesarios para culminar exitosamente la temporada de competencia.

ORGANIZACIÓN ACTUAL DE FSAE UNIMET

La agrupación Fórmula SAE UNIMET está compuesta por una directiva y miembros generales, divididos en dos divisiones principales: administrativa y técnica. La división técnica se encarga del diseño, construcción, pruebas y reparación de sistemas prototipo, mientras que la división administrativa gestiona los recursos, las relaciones con los socios y la universidad, la organización interna y las relaciones públicas.

La agrupación se regula y rige bajo los estatutos establecidos por el propio equipo en el documento titulado “REGLAMENTO INTERNO DEL EQUIPO FÓRMULA SAE UNIMET” constituido de 8 capítulos que constituyen:

CAPÍTULO I -“Del nombre, imagen y domicilio” [Pág.1]

CAPÍTULO II -“De la Misión y Visión” [Pág. 2]

CAPÍTULO III -”De la organización” [Pág. 2]

CAPÍTULO IV -"De los miembros" [Pág. 6]

CAPÍTULO V -"Del sistema de faltas" [Pág. 7]

CAPÍTULO VI -"De las Atribuciones de los Miembros de la Junta Directiva" [Pág. 10]

CAPÍTULO VI -"De las elecciones de la Junta Directiva" [Pág. 14]

CAPÍTULO VII -"Del patrimonio" [Pág. 15]

CAPÍTULO VIII -"Del Reglamento Interno" [Pág. 16]

IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS EN EL EQUIPO FSAE UNIMET

Se llevó a cabo una entrevista informal por medio de comunicación personal al equipo de Fórmula SAE de la Universidad Metropolitana para conocer cuáles son los inconvenientes que suelen afectar su metodología, entre los cuáles mencionaron:

- Comunicación entre divisiones de trabajo
- Retrasos ocasionados por servicios de terceros
- Transporte de materiales
- Difusión de conocimientos técnicos
- Planificación de diseño
- Falta de validación de los diseños

Fase 2: Necesidades y objetivos

Base del plan de gestión general

Para comenzar a realizar el planteamiento de una metodología de gestión de proyecto para el caso de Fórmula SAE UNIMET, se toma como referencia principal las directrices expuestas en el PMBOK® (PMI, 2021), la cual indica que para dar inicio al proyecto, se plantea la gestión de integración del proyecto, lo cual abarca la definición de estatutos de funcionamiento, un plan de gestión general, la gestión del trabajo, la gestión del conocimiento, el seguimiento, la integración de cambios y el cierre del proyecto.

El plan de gestión general del equipo se basa en estatutos de funcionamiento, estructura interna, propósito y marco reglamentario. Esta metodología es mutuo acuerdo entre los miembros del equipo y es deseada para ser factible y efectiva, ya que se dirige a un proyecto vocacional y voluntario con fondos restringidos. Factores de temporadas anteriores son consideradas para el desarrollo del plan.

Definición de metas

A pesar de que el proyecto cuenta con una misión clara, que es la participación exitosa en la competencia Formula SAE Michigan, es importante definir las metas específicas del proyecto, en base al alcance esperado, además, existen objetivos que complementan el propósito educativo de la agrupación estudiantil que deben ser tomados en cuenta.

Siguiendo los principios de la agrupación, las metas definidas se deben apegar a la misión y visión del equipo, constando éstas de dos ramas principales:

- Brindar a los estudiantes de la Universidad Metropolitana la oportunidad de la conceptualización, diseño, construcción y competición anual de un prototipo de carreras estilo fórmula.
- Formar parte de la formación integral de profesionales proactivos, versátiles con aptitudes emprendedoras y técnicas.

El equipo debe definir metas en técnicas, integración y capacitación de nuevos miembros, respaldada por referencias de temporadas anteriores y retroalimentación de profesionales de la competencia. Se lleva a cabo ideas para desarrollar nuevos tecnológicos, tratos con patrocinadores, captación y capacitación de nuevos miembros.

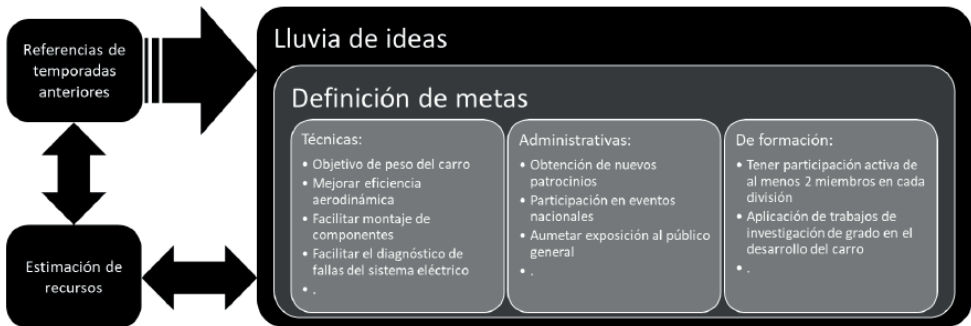


Figura 1. Abordaje a la definición de metas

Una característica relevante a la hora de definir metas es intentar que éstas sean cuantificables y medibles.

Identificación de necesidades

Como se expresa en la definición de metas, es necesario considerar los recursos necesarios para cumplirlas. Para la identificación de recursos se debe considerar preliminarmente las acciones necesarias en las diferentes áreas del proyecto, así como las herramientas a utilizar, desde el diseño y construcción, hasta la logística de traslado a nivel nacional e internacional.

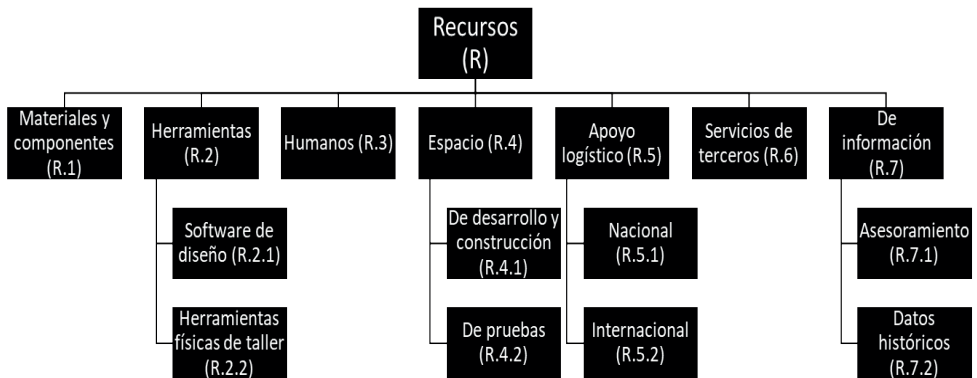


Figura 2. Identificación de recursos

Los recursos no se definen únicamente al inicio de la temporada, sino surge a medida del desglose del trabajo (WBS) y asociaciones a las tareas. Esta identificación es crucial para la planificación de tareas del equipo administrativo, ya que tenga relaciones con empresas y la universidad. Además, considera recursos disponibles en la agrupación.

Estimación de presupuestos

La estimación de presupuestos es uno de los factores principales a la hora de delimitar el alcance del proyecto. Se realiza una estimación inicial del presupuesto requerido, basado en las necesidades identificadas y en referencias de temporadas anteriores. Éste debe cubrir los gastos de cada actividad de desarrollo técnico y construcción del carro, las actividades administrativas y logísticas.

Siguiendo como referencia la metodología del PMBOK® (PMI, 2021), en el caso de FSAE UNIMET, las técnicas recomendadas para construir el presupuesto estimado es la de estimación análoga y estimación ascendente (*bottom-up*). En el primer caso se utilizan como referencia los costos afrontados en temporadas pasadas. Esto presenta una gran aplicabilidad sobre todo en aquellos costos que no varían significativamente entre temporadas, como los gastos de logística o de inscripción en la competencia. En el caso de la estimación ascendente, el presupuesto se construye desde las actividades detalladas, según los diseños pensados en la definición de metas, generando presupuesto inicial para cada división, así como presupuestos para las diferentes líneas de trabajo de la división administrativa (logística, exposición y mercadeo). Los presupuestos estimados de cada actividad y paquete de trabajo se suman, considerando para cada uno un margen de reserva, obteniéndose el presupuesto global estimado del proyecto.

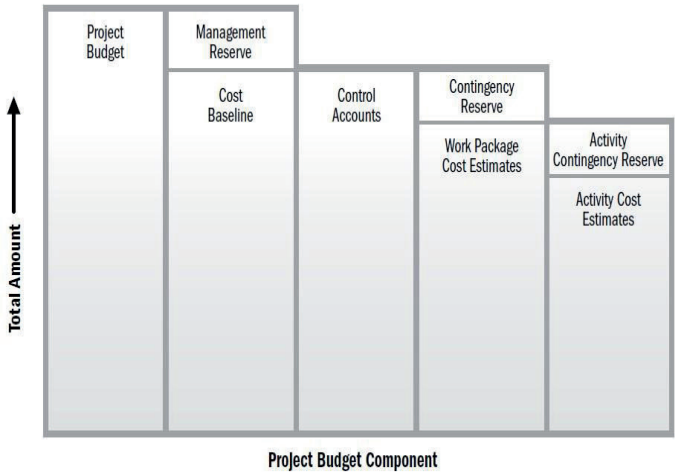


Figura 3. Construcción del presupuesto
 Fuente: *PMBOK® GUIDE*, (p, 255) PMI, 2017.

Por otro lado, se consideran holguras o fondos de contingencia en cada división dependiendo de los costos y riesgos manejados, como se puede observar en la Figura 3, ya que al ser un proyecto estudiantil de investigación y desarrollo suelen fallar en algunas ocasiones los diseños o planteamientos propuestos, trayendo como consecuencia estos gastos inesperados.



Figura 3. Desglose del presupuesto

En el caso de FSAE UNIMET, el presupuesto de gastos logísticos de traslado del prototipo y el equipo a la sede de competencia en Michigan tiene un gran peso, se sabe que puede llegar a abarcar entre el 70% del presupuesto global del proyecto. Mientras que el diseño, construcción y pruebas de la división técnica no manejan costos tan elevados.

Programación de hitos

Los hitos son acontecimientos importantes en la diseño, construcción, adquisición de materiales y eventos relacionados con la competencia, y son la base de la programación de tareas y cronogramas de trabajo.

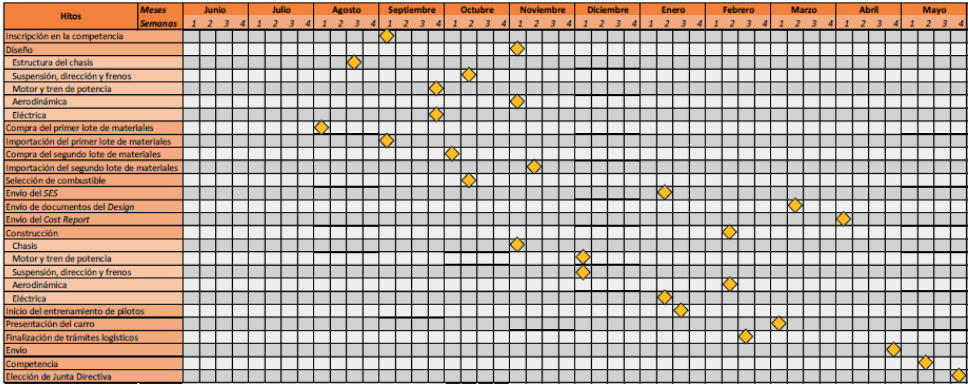


Figura 4. Programación de hitos de la temporada

Asignación de trabajo

Una vez definidas las necesidades, se comienza con la asignación de paquetes de trabajo por división, basado en el organigrama del equipo, para cumplir con la programación de hitos y las metas. Estos paquetes de trabajo serán luego desglosados en actividades específicas, relacionadas entre sí, formando la estructura del desglose del trabajo o *Work Breakdown Structure (WBS)* planteada en la próxima fase.

Los paquetes de trabajo de cada división se plasman a continuación:

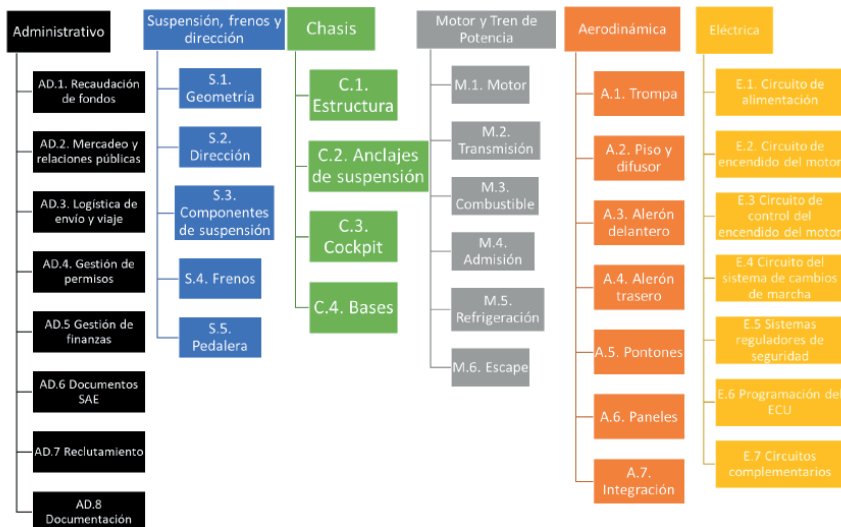


Figura 5. Paquetes de trabajo por división

Los elementos que conforman la propuesta del plan de gestión general no son pasos sucesivos, ya que se encuentran interrelacionados. Por ejemplo, no se puede finalizar la definición de metas si no ha comenzado la estimación de presupuestos, lo cual es algo que debe considerarse durante su planteamiento.

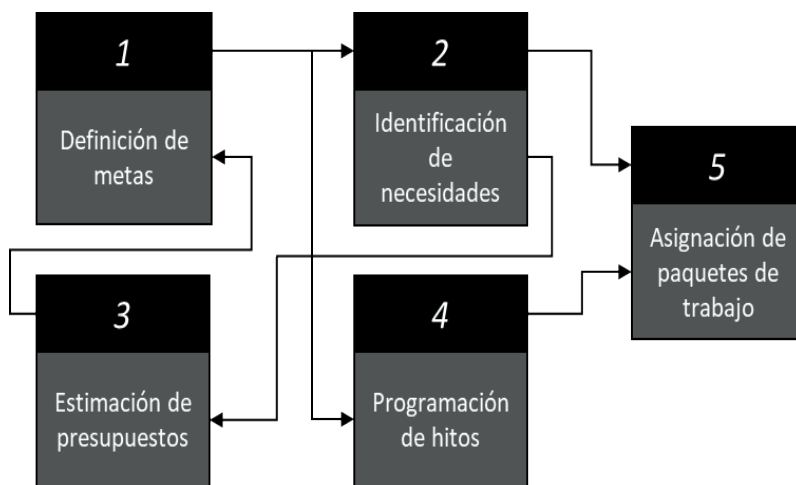


Figura 6. Flujo lógico del planteamiento del plan de gestión general

Control del trabajo y seguimiento

El control del trabajo forma parte crucial de la gestión del proyecto, ya que es la manera de asegurar que las actividades de cada paquete de trabajo se lleven a cabo exitosamente (PMI, 2021).

FSAE UNIMET tiene estatutos en el equipo con estructuras y una “Asamblea General” para discutir avances, tareas, actualizaciones y decisiones, esenciales para control del trabajo y seguimiento de tareas de cada división, propone documentos para fortalecer estructura.

Reportes de trabajo semanales: En este documento se registran semanalmente los avances de las actividades realizadas de cada paquete de trabajo, actividades adicionales, las actividades por realizar e información adicional. Los elementos que debe contener principalmente son: o Fecha o Avance de actividades durante la semana, representan el seguimiento de tareas:

- Actividades
- Estatus
- Comentarios: Pueden incorporarse recursos utilizados o Actividades por realizar la próxima semana:
- Actividades

- Prioridad
- Responsable
- Comentarios: Pueden incorporarse dependencias o recursos necesarios para cumplirlas

Este registro tiene como objetivo mantener los errores y aciertos, con sus motivos, y además se debe hacer para cada fase del proyecto, incluyendo diseño, construcción, pruebas dinámicas, consideraciones de recursos y gestión administrativa. Se centra en la eficiencia en la inversión de tiempo.

Control de finanzas, riesgos y actualización del alcance

El proyecto tiene un gran factor de incertidumbre, existen escasos recursos para predecir contingencias o posibles cursos de acción. El presupuesto, riesgos y participación de los patrocinadores se debe evaluar a medida que avanza el proyecto.

Patrocinadores

La financiación del proyecto depende en gran medida del apoyo de las empresas de apoyo, por lo que la mayor parte del esfuerzo administrativo del equipo debe dedicarse a actividades de recaudación y retención de fondos. Se proponen dos documentos principales: un Plan de Beneficios para Patrocinadores, que se centra en la publicidad y exposición de la marca, y un Nombre de Patrocinadores, que almacena todos los datos y sigue su estatus y aportes. Agentes adicionales, como otras empresas, asesores y contactos interesados, también pueden desempeñar un papel crucial en el desarrollo del proyecto.

Riesgos

La factibilidad del proyecto depende de la identificación oportuna de riesgos, como retrasos, aumento de costos, baja sostenibilidad o fallas del prototipo. Esto puede ser realizado durante la planificación, el desarrollo del proyecto, el seguimiento de tareas semanales, control de gastos, presupuestos y estatus de los patrocinadores, y discusiones y evaluación crítica por la Junta Directiva del equipo.

Técnicas

Como parte de la formulación general de la gestión del proyecto, se proponen diversas técnicas complementarias que varían desde aplicaciones de gestión y toma de decisiones, hasta la integración del abordaje de *SE*, para asegurar una cohesión entre las metas de las divisiones técnicas y administrativas.

Para toma de decisiones

El proyecto propone dos técnicas para la toma de decisiones: votación y matriz de decisión. La votación implica una votación simple con más del 50% de apoyo de la Junta Directiva, mientras que una matriz de decisión evalúa los beneficios y riesgos de diferentes alternativas. A cada criterio se le asigna un peso basado en la consulta de expertos y el contexto contextual. Se presenta un ejemplo de esta matriz para evaluar y adquirir diferentes ideas para un nuevo prototipo.

DFX

Por sus siglas en inglés *Design For X*, se refiere a una serie de lineamientos técnicos para ser aplicados durante las etapas de diseño. Implica que el diseño, en este caso del carro y sus componentes, deben ser diseñados considerando optimizar algunos aspectos específicos (X) (PMI, 2017). Estos lineamientos, adaptados a un proyecto de FSAE pueden estar conformados por los siguientes aspectos:

V model

Se trata de una representación gráfica del ciclo de vida de un proyecto. Relacionado con las metodologías del *SE*, esta técnica es orientada a los requerimientos del sistema y su posterior validación y verificación. El modelo V consta de 2 ramas, el lado izquierdo plasma la descomposición de los requisitos del sistema en requerimientos de conjuntos y subconjuntos. Esta descomposición de requerimientos se repite hasta alcanzar especificaciones precisas a nivel de componentes, de manera que cumplan con los requerimientos del sistema que conforman (Forsberg y Mooz, 1998).

Una vez definidas las especificaciones, diseñados y fabricados los componentes, se aplica el lado derecho del diagrama, que consta de la validación y verificación de componentes, subconjuntos, conjuntos y finalmente del sistema completo. Cada fase del lado derecho del diagrama se correlaciona directamente con su contraparte en el lado izquierdo.



Figura 7. Modelo V aplicado a aplicado al diseño basado en la dinámica de vehículos

Fuente: ComparaSoftware(2024)

Esta técnica resulta de gran utilidad a la hora de definir e integrar los aspectos técnicos de un sistema complejo, en este caso, del prototipo de Fórmula SAE. Como parte de la metodología propuesta, se puede integrar los aspectos del modelo V en el desglose de la estructura del trabajo (*WBS*) de las divisiones técnicas, desde la definición de requerimientos para el vehículo completo, requerimientos por división y finalmente los requerimientos de cada componente diseñado o seleccionado, considerando su integración y correlación entre ellos; y luego la planificación de actividades de validación de cada fase para cada división.

Fase 3: Estructuración de tareas y fechas

La fase 2 sentó las bases de la metodología con el plan general de gestión, en la fase 3 se procede a desarrollar dicho plan con sus líneas de trabajo correspondientes, subdividiéndolas en componentes específicos y considerando sus recursos asociados, responsables, esquemas de tiempo e interrelaciones con otras actividades.

Estructura de desglose del trabajo (WBS)

La estructura de desglose del trabajo consta de tareas más pequeñas, detalladas y manejables que proporcionan resultados identificables y recursos necesarios. La aplicación WBS en el proyecto FSAE permite definir claramente acciones para la correcta aplicación del modelo V. Reconocer las relaciones y dependencias entre diferentes paquetes de trabajo es crucial para la coordinación y las consideraciones. Esto se puede representar gráficamente mediante diagramas de flujo en la programación de actividades.

Cada actividad tiene recursos necesarios para llevar a cabo, ayudando al equipo a analizar el alcance del proyecto y reconsiderar alternativas si recursos no son conseguidos o hay riesgos. Un formato propuesto para desglose de actividades es una tabla con identificadores, nombre de la tarea, descripción, dependencias de inicio y cierre.

ID	Tareas correspondientes	Descripción y consideraciones	Dependencias De inicio	De cierre	Recursos
D	Diseño				
D.1	Diseño conceptual				
<i>D.1.1</i>	<i>Lluvia de ideas</i>	Feedback de los jueces de la competencia, lecciones aprendidas			R.3, R.4.1, R.7.2
<i>D.1.2</i>	<i>Selección de áreas a desarrollar</i>	Alcance del proyecto, prioridad de ideas	D.1.1		R.3, R.4.1, R.7.1, R.7.2
D.2	Definir objetivos iniciales de diseño				
<i>D.2.1</i>	<i>Definir centro de gravedad, masas (suspendida & no suspendida), aceleraciones máximas</i>	Asumir objetivos de masa suspendida y no suspendida, ubicación del centro de gravedad, aceleraciones laterales y longitudinales a las que se someterá el carro. Considerar posición tentativa de todos los componentes	D.1.2		R.3, R.4.1, R.2.1
<i>D.2.2</i>	<i>Definir posición de manejo del piloto</i>	Considerar tamaños de pilotos y posición de manejo deseada, cg, ajustabilidad y visibilidad	D.1.2	D.2.1	R.3, R.4.1, R.2.1, R.7.1
<i>D.2.3</i>	<i>Definir distancia entre ejes y ancho (ruedas)</i>	Considerar distribución de peso deseada entre ejes y ancho total del carro, diferencias entre eje delantero y trasero para maniobrabilidad y transferencia de carga. Bajo yaw inercia	D.1.2	D.2.1	R.3, R.4.1
<i>D.2.4</i>	<i>Análisis de cauchos</i>	Acceder a la data de cauchos del consorcio TTC de FSAE, revisar las opciones de cauchos disponibles en el mercado, manejo de software de análisis de cauchos o creación de herramientas propias.	D.1.2		R.3, R.4.1, R.2.1, R.7.1, R.7.2
<i>D.2.5</i>	<i>Selección de cauchos y rines</i>	Considerar tracción, costos, cambios en el diseño de la aerodinámica, peso de la masa no suspendida	D.2.4	D.2.1	R.3, R.4.1, R.2.1, R.7.1

Tabla 1. WBS para la definición de requerimientos de sistema y diseño (bloque superior del lado izquierdo del modelo V)

Si ciertas tareas propuestas aún presentan cierto grado de abstracción, es posible que sea necesario descomponerlas en subtareas más específicas, con mayor grado de detalle.

En el caso del equipo administrativo, la descomposición de tareas para la estructura de desglose de trabajo no siempre alcanza un nivel tan detallado como para las tareas técnicas, debido a que muchas de las responsabilidades del equipo técnico pueden surgir durante el transcurso de la temporada.

Un abordaje más práctico sería el del *Rolling Wave Planning*, el cual se basa en la planificación detallada para el trabajo a corto plazo, mientras que el trabajo a mediano y largo plazo se planifica de manera más general ya que la información es menos precisa (PMI, 2017). Para la aplicación de esta herramienta para el desglose de trabajo es crucial contar con reportes semanales (apartado III.2.2) detallados y actualizados, ya que permitirán al equipo administrativo plantear constantemente las tareas pendientes, así como los recursos y fechas asociadas.

Independientemente de la naturaleza dinámica del proyecto, existen ciertas responsabilidades dentro del equipo administrativo que suelen mantenerse, por lo que el desglose preliminar se puede representar con los siguientes paquetes de trabajo:

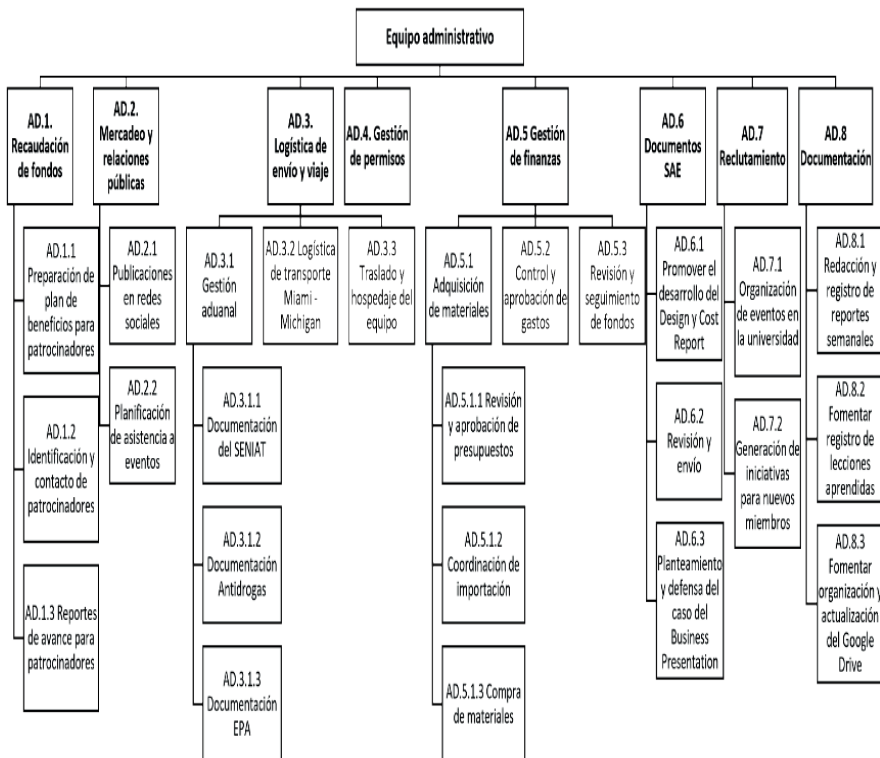


Figura 8. Estructura del desglose del trabajo administrativo

Estos paquetes de trabajo pueden ser definidos con más detalle de manera progresiva mediante el *Rolling Wave Planning*.

Programación de actividades

Una vez definidas las tareas de cada división en la estructura de desglose de trabajo, es importante definir un orden de estas, considerando sus relaciones y dependencias. Para ello se plantea un diagrama de precedencia (*PDM*), utilizando la convención planteada en el PMBOK® (PMI, 2017).

Esta manera de representar el trabajo permite identificar aquellas actividades en las que es crucial que las divisiones mantengan una comunicación constante, asimismo permite visualizar qué tareas tienen un gran número de tareas sucesoras dependientes o cuáles requieren de mayor esfuerzo o recursos para ser completadas. Esto ayuda al equipo a priorizar tareas o a identificar posibles riesgos de retraso entre divisiones.

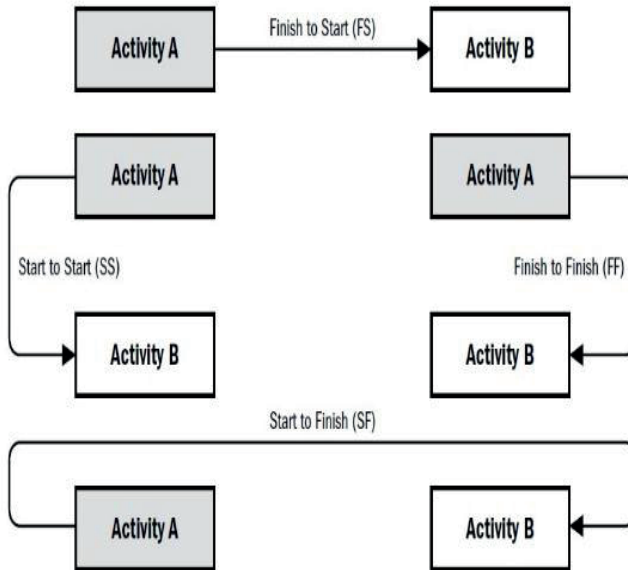


Figura 9. Tipos de relaciones en un diagrama de precedencia (PDM)

Fuente: *PMBOK® GUIDE*, (p, 190) PMI, 2017.

Para planificar el calendario de actividades se debe tener primero una estimación de la duración de las tareas y la programación de los hitos establecidos, ya que marcan la fecha objetivo en la cual se entregan los resultados de la finalización de las tareas. La estimación de las duraciones de las tareas se puede realizar mediante una estimación ascendente, donde se estima la duración de cada una de las tareas del *WBS* y se suman de acuerdo con sus dependencias, para hallar la duración total.

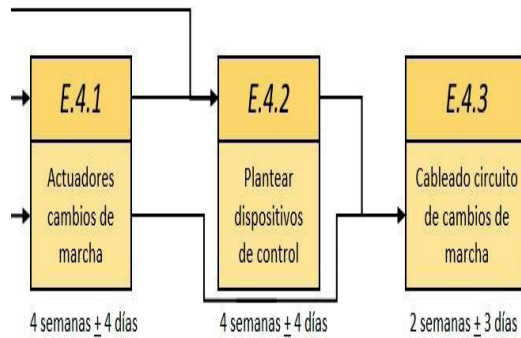


Figura 10. Ejemplo de estimación ascendente de duración de actividades

En la figura 10 se puede observar cómo estimando las tareas desglosadas del WBS para el circuito de cambios de marcha (uno de los paquetes de trabajo de la división de eléctrica), se puede estimar que el diseño del sistema de cambios de marcha puede durar 10 semanas. En ciertos casos se puede aplicar el *Critical Path Method*, que consiste en asignar a cada actividad fechas de inicio y finalización tanto temprana como tardía, y con el apoyo del diagrama de flujo lógico de las tareas, encontrar el camino más largo. Este indicaría cuánto podría ser la duración máxima hasta la finalización de todas las tareas.

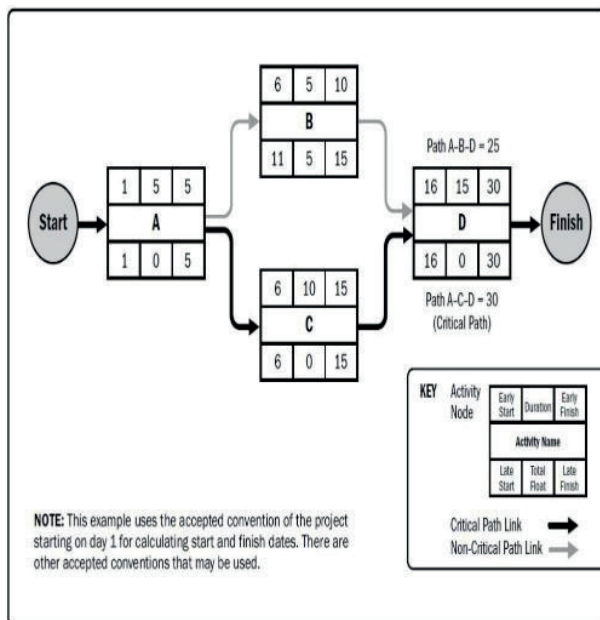


Figura 11. Critical Path Method

Fuente: *PMBOK® GUIDE*, (p, 211) PMI, 2017.

La técnica de optimización para redes complejas e interconectadas puede ser difícil y poco práctica sin un software apropiado. La programación de las tareas debe complementarse con reuniones de equipo para discutir el desarrollo de las tareas y estimar lapsos de tiempo a los hitos establecidos en el plan de gestión general.

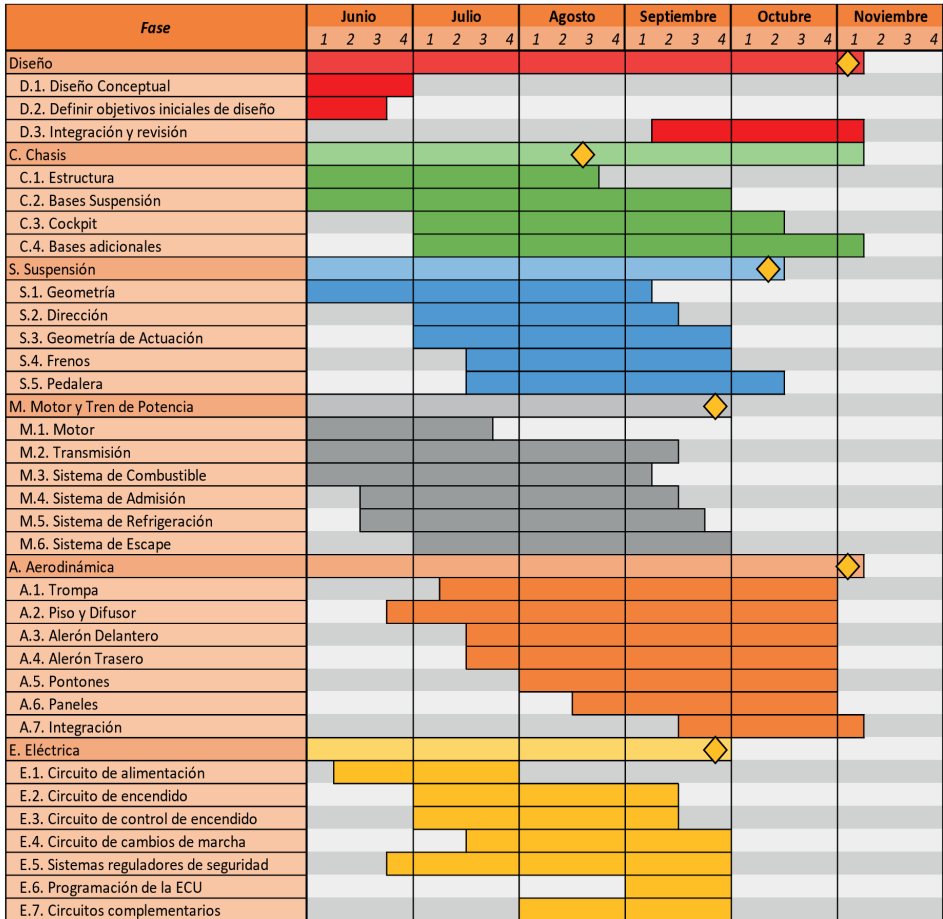


Figura 12. Diagrama de barras para la fase de diseño con hitos correspondientes

Fuente: Elaboración propia

Fase 4: Implementación de técnicas de *Lean Manufacturing*

A continuación, se observan algunas de las técnicas de *Lean Manufacturing* que se consideraron las más factibles para implementar a la metodología de proyecto para equipos de Fórmula SAE, tomando en consideración El factor del aprendizaje voluntario de estudiantes, así como la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías y que, en múltiples casos, los recursos podrían ser reducidos.

Las 5s

Técnica utilizada para la mejora de las condiciones del trabajo de la empresa a través de una excelente organización, orden y limpieza en el puesto de trabajo. Consiste en la aplicación de los principios mostrados en la siguiente figura 21:



Figura 13. Principios de las 5S

Lean manufacturing: conceptos, técnicas e implantación, (p, 41) Hernández, J., Vizán A. 2013.

Los equipos de Fórmula SAE pueden implementar fácilmente esta técnica, a pesar de posibles problemas como acumulación de residuos y desorganización del taller, que podrían impedir los procesos de productividad.

La estandarización

La estandarización de procesos es una técnica útil para el proyecto, enfocada en las divisiones técnicas y administrativas de equipos para reducir errores y mejorarlo. Estandarización se emplea en ensamblar y desensamblar sistemas del prototipo en secuencias específicas. En la Figura 14 se muestra el proceso estándar del equipo

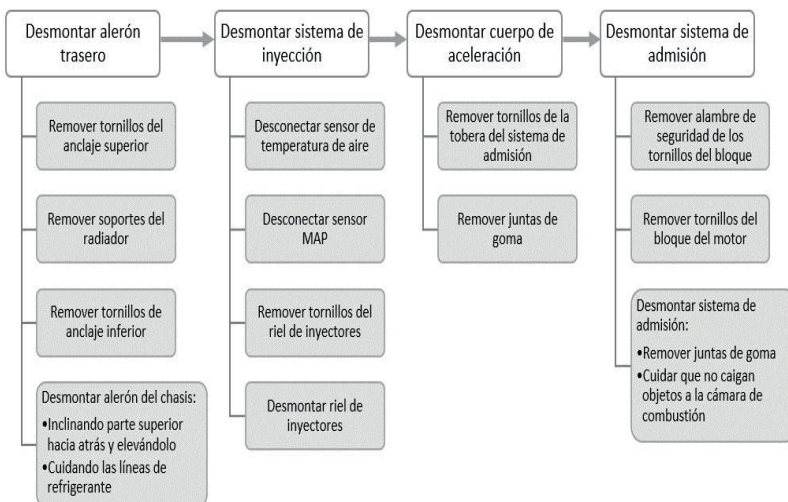


Figura 14. Proceso estándar para el desmontaje del múltiple de admisión

Control visual

El control visual es una señal a nivel de todo el sistema que indica pérdida o mejora del sistema, aplicable a los equipos de Fórmula SAE en varias etapas, incluidas las divisiones de diseño, fabricación y administrativas, permitiendo un uso y desempeño más eficiente del material.

Poka Yoke

Este busca detectar posibles errores y detenerlos antes de que sucedan, como podría ser escoger un mismo código de color para el cableado del prototipo, evitando posibles confusiones a la hora de la fabricación o mantenimiento. Es aplicable en la agrupación en la división técnica, tanto en la fase de diseño como en la fase de manufactura, así como también es aplicable en la división administrativa.

Diagrama de Gantt

Tal como se mencionó anteriormente, es un diagrama en el cual se plantean todas las actividades necesarias para culminar con éxito el proyecto y los tiempos de inicio y fin que se disponen para cada una de estas, con el fin de supervisar los avances en estas actividades y cumplir con los hitos planteados. Esta herramienta fue la más identificada en las encuestas realizadas y se puede referenciar en la Figura 12.

Análisis FODA

La herramienta es utilizada para analizar el estatus actual del proyecto, considerando fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, y ofrece una visión clara para decisiones, evidenciando el inicio de la temporada y el planes de invertir tiempo y dinero.

Kaizen

Es una de las principales técnicas del *Lean Manufacturing*, basado en la mejora continua mediante pequeños cambios, es aplicable a cualquier proceso desarrollado dentro de la agrupación, puesto que siempre se pueden cambiar cosas para ser más eficientes.

Aplicándose en los reportes semanales planteados anteriormente.

Kanban

Esta herramienta es un sistema de control y programación sincronizado mediante tarjetas que indica tareas pendientes, en proceso y culminadas, especialmente en proyectos de humanidad, donde la motivación y la mentoría son cruciales para los participantes.

CONCLUSIONES

Los principales problemas que enfrentan otros equipos de Fórmula SAE incluyen la comunicación, la planificación de la construcción y la difusión de conocimientos técnicos, y se recopiló información sobre su estatus UNIMET para una metodología de gestión.

Se propuso una metodología para la formulación de objetivos, identificación de necesidades y riesgos y determinación del alcance del proyecto, alineada con la misión y visión del equipo de Fórmula SAE UNIMET.

Se desarrolló una propuesta de estructura y programación de trabajo, enfatizando la relación de tareas y la identificación de recursos, utilizando herramientas *Lean Manufacturing* adaptadas a las necesidades del proyecto.

RECOMENDACIONES

Se recomienda al equipo FSAE UNIMET realizar pruebas piloto para identificar puntos de mejora, luego integrar la metodología propuesta en un software para el seguimiento y registro de proyectos, con tutoría y gestión del factor humano para promover la resolución de conflictos, la inteligencia emocional y la motivación del equipo.

REFERENCIAS

Bucanac, C. (1999). The V-Model. University Of Karlskrona/Ronneby.

Bundesrepublik Deutschland. (2004). V-Modell XT.

ComparaSoftware (2024) Modelo V: ¿Sigue siendo útil para tus proyectos?.<https://blog.comparasoftware.com/modelo-v/>

Feier, I., Durkee, A. (2018). Formula SAE as a Capstone Design Course at the U.S. Air Force Academy. U.S. Air Force Academy.

Forsberg, K., Mooz, H. (1998). System Engineering for Faster, Cheaper, Better. Center for Systems Management, Inc.

Hall, David C., (2017). Systems Engineering Guidebook: A Guide for Developing, Implementing, Using and Improving Appropriate, Effective and Efficient Systems Engineering Capabilities.

Heizer, J. Render, B. (2009). Principios de administración de operación (7ma ed.) Pearson Education.

Hernández, J., Vizán A. (2013). Lean manufacturing: Conceptos, técnicas e implementación.

Fundación EOI (Escuela de organización industrial).

Hernández, R., Fernandez, R., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6th ed.). McGraw Hill. <https://www.uca.ac.cr/wpcontent/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

INCOSE. (2023). Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (Version 2.9).

Kolossvary, T., Dory, T., Feszty, D. (2023). Systems engineering in automotive product development: A guide to initiate organisational transformation. Széchenyi István University.

M. Gadola, D. Chindamo. (2019). Experiential learning in engineering education: The role of student design competitions and a case study. International Journal of Mechanical Engineering Education.

Mendez, E. (2018). PROPUESTA PARA PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN, CHASIS DIRECCIÓN Y FRENOS CON MANUFACTURA ESBELTA REFERENCIADO EN UN VEHÍCULO MONOPLAZA TIPO FORMULA SAE.

Universidad politécnica salesiana sede cuenca.

Project Management Institute. (2017). A guide to the project management body of knowledge (6th edition).

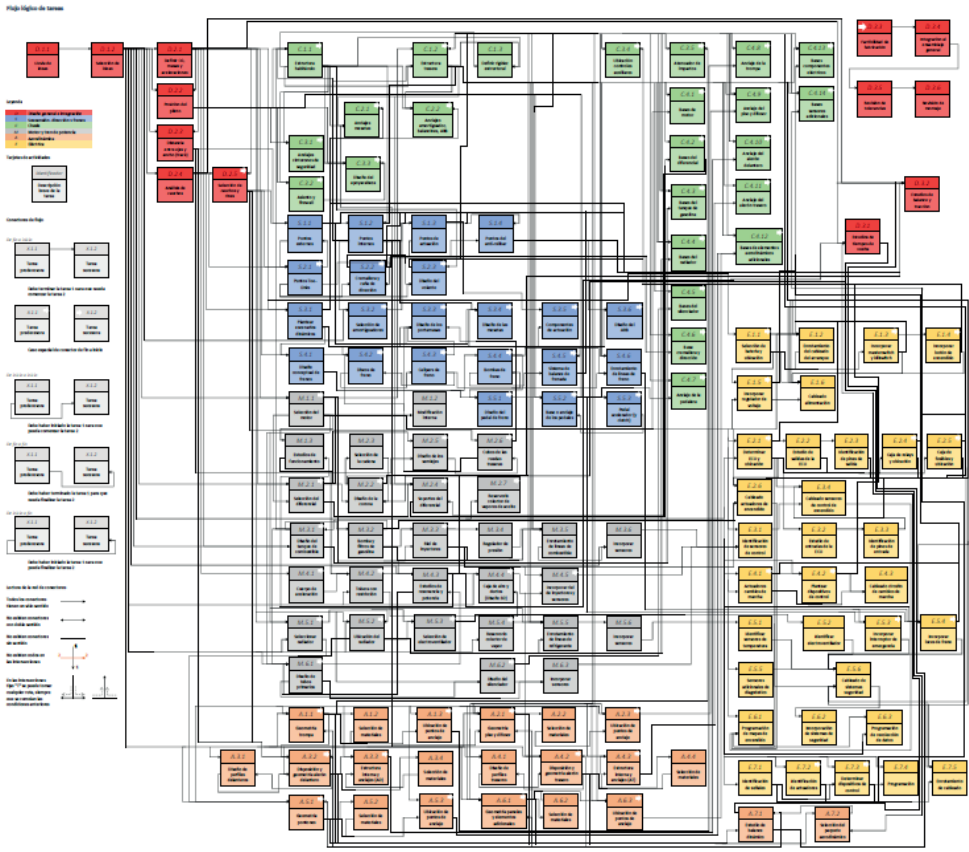
Project Management Institute. (2021). A guide to the project management body of knowledge (7th edition).

SAE international (2023). About formula SAE Series. <https://www.sae.org/attend/student-events/formula-sae-michigan/about>

SAE international (2023). Student events: <https://www.sae.org/attend/student-events>

APÉNDICES

Apéndice A. Planificación de la fase de diseño. Estructura de desglose de trabajo (WBS) y flujo lógico de tareas



SISTEMA INTEGRAL PARA LA PLANEACIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS PARA LAS PYMES DE CONSTRUCCIÓN

Fecha de aceptación: 01/07/2024

González F., José A

Zaragoza G., Nicolás

Álvarez R., Sergio O.

Alcudia V., Carlos

Díaz R., José

RESUMEN: Este estudio se enfoca a las PyMES de construcción porque constituyen una gran fuerza constructora en México, pero que por su tamaño y recursos, no invierten en investigación y desarrollo de sus procesos técnico – administrativos. Se diseñó para ser llevado a cabo en tres grandes etapas. Primero se planteó la elaboración de un diagnóstico para identificar problemas, necesidades y requerimientos de las PyMES y saber de esta manera el estado actual de la práctica en relación con la planeación y control de proyectos. Los resultados llevaron a considerar que las PyMES tienen que implementar varias modificaciones y ajustes a su práctica actual, para lograr que las fases de planeación y control sean más completas e integrales. Aún más, se dedujo que no cuentan con un sistema integral

de cómputo para manejar la gran cantidad de información que se genera durante los procesos de administración, indispensable para una buena toma de decisiones. En la segunda etapa, con base en el diagnóstico, se propuso desarrollar un modelo conceptual que enmarcara integralmente las funciones de planeación y control de proyectos y que pudiera adaptarse a las diferentes PyMES que lo adoptaran. En la siguiente etapa se desarrollaron las herramientas computacionales con base en el modelo conceptual, para apoyar la eficiencia y eficacia de las empresas. El desarrollo de software resulta indispensable para maximizar el impacto en la práctica.

INTRODUCCIÓN

Existe evidencia que las pequeñas y medianas empresas (PyMES) de la industria de la construcción en México dedican un gran esfuerzo al estimado de los costos de construcción, poniendo poca atención en los aspectos de la planeación de sus proyectos. Lo anterior es probablemente impulsado por los propios contratantes, quienes toman sus

decisiones para asignar los proyectos con base principalmente en los aspectos económicos de las licitaciones de obra, minimizando la importancia de los aspectos administrativos y técnicos que conlleva la construcción de un proyecto. Sin embargo, sin una planeación detallada es poco probable que el proyecto se pueda controlar adecuada e integralmente, lo que reduce sustancialmente sus probabilidades de éxito. Sin estos elementos los constructores no pueden tomar decisiones acertadas y oportunas, lo que hace muy difícil que puedan alcanzar sus objetivos de tiempo y costo que los propios contratantes les exigen y cuya capacidad de lograrlos determina el prestigio y viabilidad de la propia constructora.

Las empresas abordadas en este estudio son las PyMES de la construcción, pues constituyen una gran fuerza constructora en México y que, por su tamaño y recursos, no invierten en investigación y desarrollo de sus procesos técnico – administrativos. El estudio tuvo la intención de apoyar las mejoras tecnológicas de las PYMES en la práctica de la gestión de proyectos.

Muchas investigaciones han abordado problemas similares en el ámbito internacional y han concluido que es conveniente integrar el costo y el tiempo durante la elaboración de los planes para la ejecución de los proyectos de construcción. Esta meta podría lograrse si también se lleva a cabo integralmente las fases de planeación y control. Por ejemplo, Syal *et al.*, (1992) propusieron en “Construction Project Planning Process Model for Small – Medium Builders” un enfoque integral como el que se menciona. Sin embargo, aunque otros modelos han sido desarrollados en apoyo a las PYMES (Syal *et al.*, 1992), el contexto y los objetivos considerados distan mucho de las condiciones enfrentadas por las PYMES en los países en desarrollo.

En la FIUADY se ha abordado el problema en el ámbito de una región mexicana. González y Domínguez (1998) reportan un “Sistema integral automatizado de control de costos de construcción para empresas medianas” y González y Tirado (1998) lo hacen sobre un “Prototipo de un sistema para la administración de materiales en proyectos de construcción masiva de vivienda”. Éstos y otros estudios llevados a cabo en la región comparten dos aspectos notables: a) la realización de encuestas administradas a empresas constructoras enfocadas a conocer el estado actual de la práctica de la administración de proyectos en diferentes campos, así como sus necesidades y requerimientos al respecto y b) propuesta de modelos de sistemas para apoyar en la resolución de los problemas encontrados.

En la primera fase del presente estudio, la información previa con respecto a las PyMES con que se contaba fue actualizada y enfocada más específicamente a diagnosticar algunos importantes aspectos de las funciones administrativas de planeación y control; asimismo, se actualizó los problemas, necesidades y requerimientos de estas empresas en relación a esta temática. En esta ocasión, una muestra de 23 empresas de la Delegación Yucatán de la CMIC fue encuestada. El diagnóstico reveló, entre otros puntos que:

- 22% de las empresas no planean en absoluto.
- 86% de las empresas que planean utilizan el diagrama de barras de Gantt como su única herramienta de planeación. Esos diagramas, sin embargo, no son obtenidos de procedimientos más completos como la programación a través de redes (CPM, PDM, o similares).
- La planeación de recursos es realizada sólo por el 64% de las empresas y el propósito principal es sólo para cumplir los requerimientos para las licitaciones de obra. Una vez que las empresas son contratadas, solo el 26% de ellas revisa sus planes originales antes de iniciar la fase de ejecución del proyecto, y sólo el 10% durante la fase de construcción.
- De las empresas que sí planean el 68%, es decir el 43.5% de la población encuestada, usan programas de cómputo con ese propósito. Sin embargo, la mayoría utilizan programas que fueron diseñados principalmente para el análisis de precios unitarios y elaboración de presupuestos, en los que sus herramientas para llevar a cabo una planeación detallada y un posterior control integral son muy pobres.

Esto lleva a considerar que las PyMES tienen que implementar varias modificaciones y ajustes a su práctica actual de administración de proyectos de construcción para lograr que las fases de planeación y control sean más completas e integrales. Aún más, del hecho de que menos de la mitad de las empresas usen buenos programas de cómputo para la función de planeación se deduce que no cuentan con un sistema integral de cómputo para manejar la gran cantidad de información que usualmente se genera durante los procesos de administración y que es indispensable para una buena toma de decisiones.

Para apoyar a las PyMES a resolver los problemas mencionados, primero fue necesario desarrollar un modelo conceptual que enmarcara integralmente las funciones de planeación y control. Luego se desarrollaron las herramientas computacionales con base en el modelo conceptual, para coadyuvar a incrementar la eficiencia y eficacia de las empresas. Como sugiere Liberatore *et al.* (2001), para maximizar el impacto en la práctica, la integración de nuevos métodos de planeación y control en la administración de proyectos debe incluir el desarrollo de software.

METODOLOGÍA. ENCUESTA

La primera parte de esta investigación se concentró en el “qué”, es decir ¿de qué maneras las empresas administran sus proyectos?, ¿cuáles son las herramientas que las empresas utilizan para administrar sus proyectos? Debido a que el objetivo es desarrollar hipótesis pertinentes y propuestas de solución, este tipo de preguntas proporcionan el fundamento para conducir un diagnóstico (Yin, 1994). De acuerdo a Yin (1994), este caso reúne las condiciones para seleccionar una encuesta como estrategia de investigación.

Estrategia	Tipo de pregunta de investigación	¿Requiere control sobre los eventos conductuales?	¿Se enfoca en eventos contemporáneos?
Encuesta	Quién, qué, dónde, cuánto, cuáles	No	Sí

Tabla 1. Situaciones relevantes para escoger la encuesta como estrategia.

Por lo tanto se escogió la encuesta como herramienta, por lo que se diseñó un cuestionario personal estructurado para identificar problemas, necesidades y requerimientos relacionados a la práctica de administración de proyectos de las PYMES de la construcción que tuvieran su base en el estado de Yucatán, México. Este tipo de instrumento permitió la interacción directa con los entrevistados, lo que facilitó la aclaración de dudas que surgieron durante las entrevistas. Adicionalmente, fue posible observar las reacciones de los entrevistados mientras respondían las preguntas, como una manera de validar sus respuestas.

La unidad de análisis fue el conjunto de las empresas constructoras medianas y pequeñas cuya base fuera la ciudad de Mérida, Yucatán, y que estuvieran registradas en la CMIC. En el momento de la realización del estudio 291 empresas estaban registradas en esta cámara empresarial. La muestra fue calculada considerando; a) población, b) grado de certeza deseable, c) restricciones de tiempo y d) recursos disponibles para la investigación. El procedimiento consistió de los siguientes pasos:

- Revisión de literatura en relación a las funciones administrativas de planeación y control de proyectos
- Diseño del cuestionario
- Prueba piloto del cuestionario
- Identificación de deficiencias en el cuestionario y ajustes consecuentes
- Administración del cuestionario final
- Análisis e interpretación de resultados
- Conclusiones

El tamaño de la muestra se determinó de acuerdo a la guía proporcionada por Cochran (1996), quien considera adecuada la expresión mostrada a continuación, ya que a) es apropiada para diagnósticos, b) permite establecer límites al error permisible con base en la disponibilidad de recursos y c) permite ajustes para pequeñas muestras.

$$n_o = t^2PQ / d^2$$

Donde:

n_o = Tamaño de la muestra (Número de empresas a ser entrevistadas)

t = Abscisa de la función de distribución normal estandarizada para el porcentaje de error aceptable ($t = 1.645$ para un error admisible de 10%)

P = Porcentaje de la población en clase C

$Q = 100 - P$ (porcentaje)

d = Porcentaje de error admisible

El valor de P se dedujo con el siguiente razonamiento: aproximadamente el 10% de las empresas cuentan y usan las herramientas adecuadas para llevar a cabo la planeación y control de sus proyectos. El valor de d , 10%, se escogió considerando dos factores: 1) la magnitud del estudio (diagnóstico en este caso) y 2) los recursos disponibles para llevar a cabo el estudio, en este caso principalmente los encuestadores. Como sugiere Cochran, el número resultante de 24.4 tuvo que ser ajustado utilizando la fórmula siguiente, debido a que se tenía una condición de pequeñas muestras:

$$n = n_o / (1 + (n_o / N))$$

Donde:

n = Tamaño de muestra final

N = Tamaño de la población

Esto resultó en un tamaño de muestra final de 23 empresas, que fueron seleccionadas aleatoriamente de entre las 291 registradas en la CMIC.

Para poder obtener información valiosa, el cuestionario para la encuesta se diseñó consultando literatura relacionada con la planeación y control de los proyectos de construcción. Se desarrolló un diagrama de árbol para apoyar el desglose o la estructuración de la información importante, llegándose a un cuestionario preliminar con 140 preguntas. La versión final consistió de 65 preguntas seleccionadas como las más importantes para obtener información relevante para el estudio. Éstas 65 preguntas se agruparon en cuatro áreas principales: 1) información general de las empresas – 4 preguntas, 2) planeación de la construcción – 31 preguntas, 3) control de la construcción – 28 preguntas y 4) deseo de colaborar en el desarrollo de una propuesta – 2 preguntas.

En la prueba piloto para calibrar el cuestionario participaron 4 profesores de la FIUADY, seleccionados entre aquellos que contaban con experiencia gerencial en la industria de la construcción, así como el ejecutivo de una empresa constructora.

A la llegada a la empresa, el entrevistador solicitaba la colaboración de alguna persona con el conocimiento para responder el cuestionario. A los entrevistados se les

entregaba una copia del instrumento para hacer más expedito el proceso y evitar cansarlos. La mayoría de los participantes fueron los propios dueños o gerentes generales de las empresas, quienes en todo momento se mostraron amables y cooperativos. Las entrevistas se desarrollaron a lo largo de 4 semanas.

A grandes rasgos se puede esquematizar un análisis de los resultados de la encuesta, en relación con la práctica actual en la administración de los proyectos, que se resume en la figura 1. Esto se puede comparar con un esquema teórico derivado de la literatura, que se muestra en la figura 2.

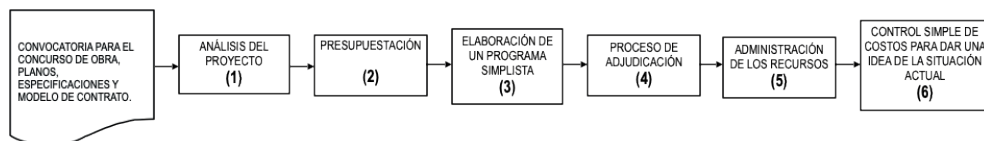


Figura 1. Práctica actual en la administración de la ejecución de los proyectos de construcción.

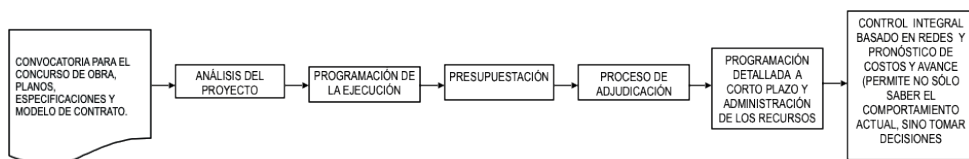


Figura 2. Esquema Teórico de la planeación y control de proyectos de construcción.

ESCENARIO BÁSICO

Del diagnóstico se pueden deducir varios aspectos que llevan a un escenario común para la mayoría de la PyMES que están a punto de iniciar la fase de ejecución de un proyecto de construcción. Algunos de estos aspectos son los siguientes:

- El sistema de precios unitarios es el más común para la contratación de los proyectos de construcción en México.
- Las propuestas para la asignación de los contratos son principalmente evaluadas en términos económicos, dando muy poca importancia a otros aspectos importantes tales como una planeación adecuada.
- Como resultado de la práctica inmediata anterior, los contratistas concentran sus esfuerzos en la integración de una propuesta para licitar basada en principalmente en términos económicos. Este esfuerzo, así como la experiencia de la empresa se pueden resumir en un solo documento: el presupuesto de obra.
- Este documento no contiene suficiente información para administrar adecuadamente la obra (o proyecto de construcción).

Así, una vez que a una empresa se le ha asignado un contrato, se encuentra que sólo cuenta con los siguientes documentos para administrar el proyecto: a) el *contrato de obra* obtenido principalmente a través de una licitación o concurso de obra; b) un *presupuesto detallado* en base a precios unitarios para ejecutar la obra asignada; c) un conjunto de *planos y especificaciones* del proyecto y d) un *programa de obra* muy simple, generalmente en la forma de un diagrama de barras o de Gantt. Debido a que este escenario ocurre en el tiempo comprendido entre la asignación del contrato y el inicio de la ejecución, alrededor de una semana, se recomienda muy enfáticamente a las PYMES llevar a cabo una planeación detallada y diseñar un esquema de pre – control en este corto periodo; esta sería la única manera de implementar un control integral y eficiente que lleve a una adecuada y oportuna toma de decisiones.

Queda claro que el modelo a diseñar tenía que: a) estar basado en el sistema de precios unitarios, b) incluir la planeación a detalle que debe ser realizada en un período muy corto y c) facilitar el uso de la información que ya se incluyó extensivamente en el presupuesto detallado, tal como el rendimiento de la mano de obra y del equipo y los recursos resultantes de las cuantificaciones.

Esquema de Partida

Debido a que el propósito de este trabajo era mejorar en la práctica los procesos de administración de proyectos, se parte entonces del esquema que se muestra en la figura 2, en el cual se propone sustituir los procesos 5 y 6 de la figura 1 por los procesos generales A, B, C y D, de la figura 3.

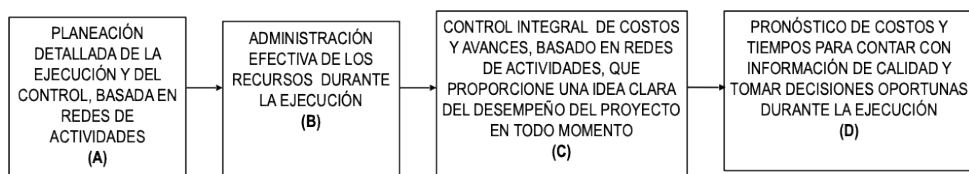


Figura 3. Propuesta general esquematizada para mejorar la administración de la ejecución de los proyectos de construcción.

DESARROLLO DEL MODELO

Los resultados de la investigación claramente muestran a los autores cuatro importantes áreas (o fases) que deben ser mejoradas en la práctica actual y que por lo tanto deben ser incluidas en la propuesta: a) Planeación detallada de la fase de ejecución, b) Administración efectiva de recursos, c) Control integral de costos y tiempos, en tiempo real y c) Pronóstico de costos y tiempos. De lo anterior se deriva el primer esquema para abordar el problema, el cual se muestra en la figura 4.

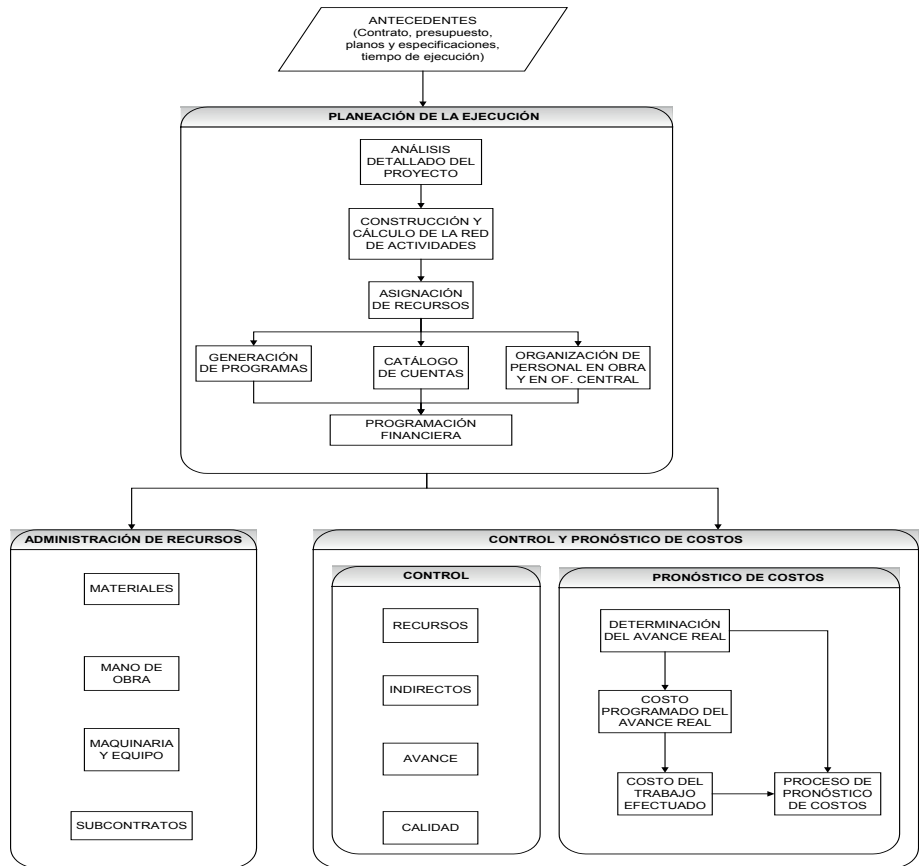


Figura 4. Esquema general del modelo de sistema propuesto.

Planeación detallada de la fase de ejecución

Una premisa básica para el desarrollo del sistema es que la mayoría de las PyMES no elaboran una planeación detallada basada en la programación por medio de redes. Por lo tanto, esto necesita ser el punto de partida, del que dos aspectos adicionales se deben abordar: 1) la administración de los recursos y 2) el control del desempeño del proyecto. La encuesta de Alcuía revela que los constructores realmente sí controlan sus proyectos, pero dicho control no se deriva de un proceso de planeación exhaustivo. Esta consideración lleva a la siguiente pregunta: ¿cómo se puede implementar un control efectivo si durante la planeación el tiempo y el costo son tratados separadamente? Esta característica ha sido identificada también por Syal *et al.* (1992) en estudios similares. Por lo tanto, otra importante meta del modelo sería la integración del costo y el tiempo necesaria para una administración más integral y efectiva.

Se propone que esta primera fase se integre con cinco etapas diferentes que se pueden observar en la figura 5a y 5b; cada etapa se compone de varios pasos que requieren

una explicación un tanto prolongada, por lo que sólo se incluye una breve explicación en los próximos párrafos. La propuesta responde a las necesidades y requerimientos encontrados en la encuesta y confrontados con la teoría y la práctica aceptada de administración de proyectos.

La primera y más importante tarea que las PyMES tienen que llevar a cabo es elaborar un *programa detallado de actividades* basado en *diagramas de redes* siendo por lo tanto, uno de los primeros pasos, definir las actividades. Y ya que las PyMES tienen escasamente una semana desde la fecha de asignación del contrato hasta el inicio de los trabajos en campo, es indispensable contar con las herramientas adecuadas para preparar el programa detallado de una manera expedita. Las PyMES también deben tomar ventaja de la información reunida durante la preparación del presupuesto de obra, y por lo tanto necesitan también herramientas para realizar consultas rápidas a este documento, suponiendo que está en un medio digital, mientras preparan el programa detallado paralelamente. Los resultados de esta etapa son *la lista de actividades* y sus *duraciones*.

En la segunda etapa, una vez que se cuenta con la lista de actividades, las PyMES tienen que *establecer las relaciones* entre ellas, *dibujar la red* de actividades y realizar *los cálculos de los tiempos*. A continuación, tienen que realizar los ajustes necesarios a “la red” para cumplir con la fecha de terminación establecida en el contrato, llegando finalmente al “programa general de obra”, conocido también como “programa maestro”.

A continuación, es muy importante distribuir los recursos de los *conceptos de costo* del presupuesto de obra en las actividades del programa. La definición de los conceptos de costo del presupuesto de obra en el esquema de *precios unitarios* es, en muchas ocasiones, muy diferente de la definición de las *actividades* del programa, sin embargo la misma cantidad y costo de los recursos del presupuesto tienen que ser distribuidos. Para este paso, las PyMES tienen que hacer uso de las tecnologías actuales; esta propuesta recomienda el uso de una hoja electrónica que integre los *recursos presupuestados* con el *tiempo programado*. A esta hoja electrónica se le denominó HEIAP en esta propuesta. Los resultados de esta tercera etapa es la integración del costo y el tiempo en un medio digital (HEIAP) y los *programas de consumo de recursos*.

La siguiente etapa consiste en calcular y analizar el flujo de caja del proyecto, combinando el programa de obra, las condiciones contractuales y las condiciones de los proveedores, con el objeto de contar con las opciones de financiamiento para el proyecto; la HEIAP tiene el potencial de facilitar esta tarea.

La última etapa de esta fase consiste en definir el *catálogo de cuentas de costo*, que será utilizada durante la fase del Control, para lo cual la HEIAP puede ser también de gran utilidad. La organización de la información en esta HEIAP tiene, al menos, tres categorías: *grupo de actividades*, *actividades* y *recursos de las actividades*, pudiendo entonces el catálogo tener la misma organización. La cantidad y costo unitario de cada recurso de cada actividad serán la información básica para cada *cuenta de costo*.

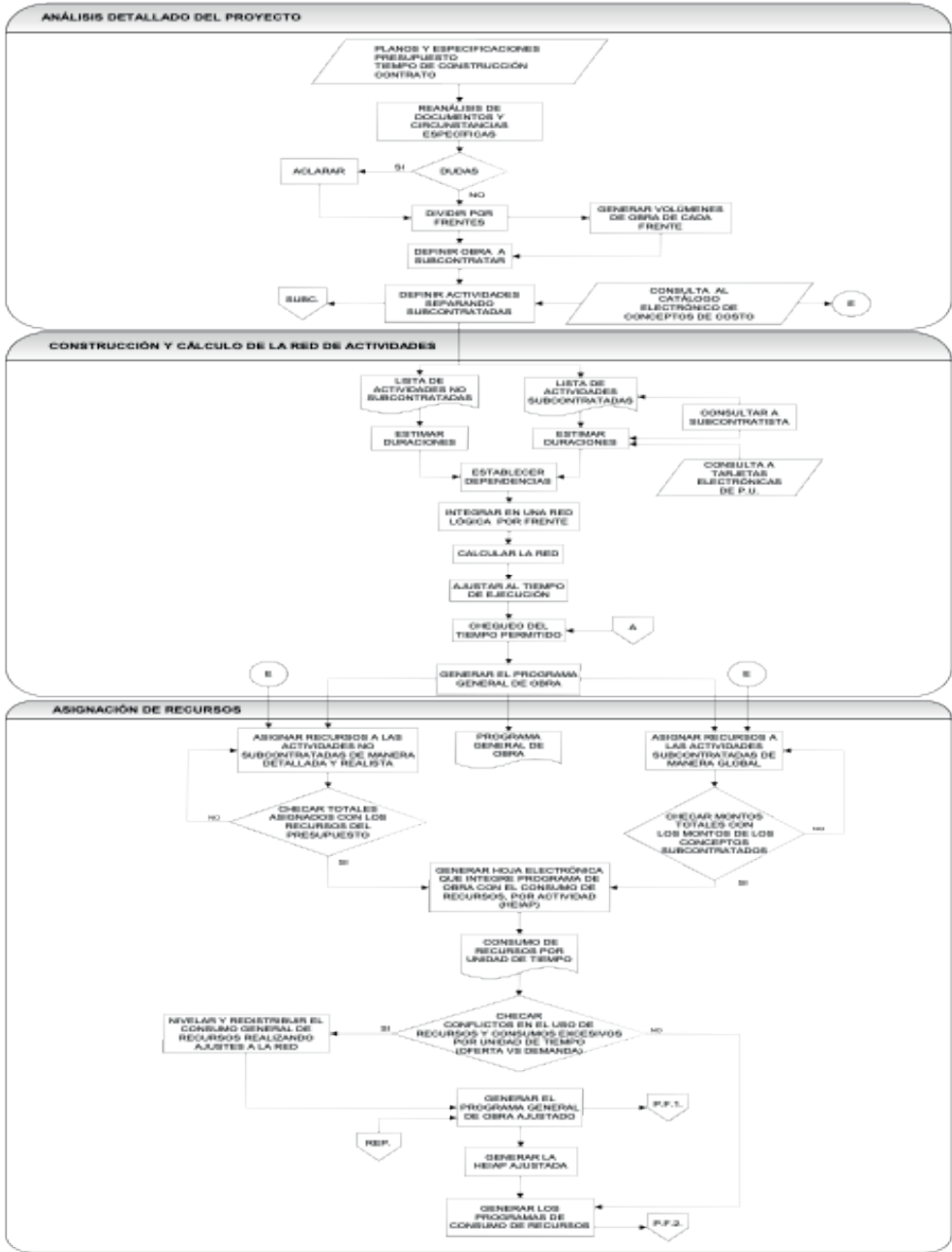


Figura 5a. La planeación de la ejecución

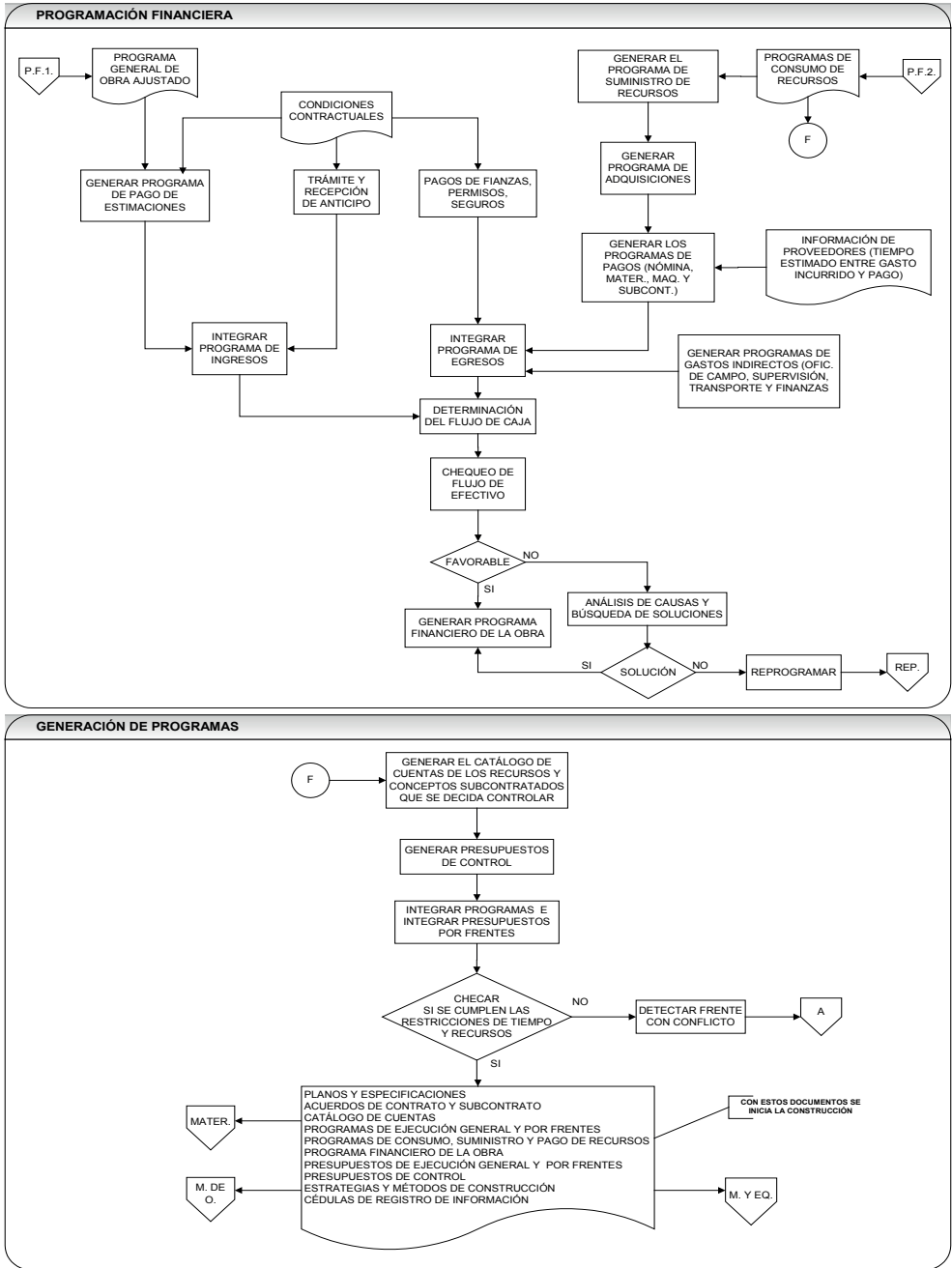


Figura 5b. La planeación de la ejecución (continuación).

El propósito general de esta fase es lograr tener todos los documentos necesarios para administrar efectivamente el proyecto, justo antes de iniciar su ejecución. Estos documentos (de preferencia en medios electrónicos) van del contrato, los planos y las especificaciones, hasta el catálogo de cuentas, los procedimientos y estrategias constructivas y los controles para recabar la información de campo, incluyendo toda clase de planes, programas y calendarios. Sólo a través de una estrategia de planeación integral, las PyMES estarán en la posición de manejar efectivamente sus recursos durante la ejecución, diseñar y llevar a cabo un control integral y tomar las mejores decisiones posibles importantes para el buen desempeño del proyecto (Russel *et al.*, 1997).

Administración efectiva de los recursos

Para satisfacer algunos de los requerimientos identificados en la encuesta, se consideró conveniente que el modelo debería facilitar: a) la obtención y manejo de los datos generados en campo para análisis y toma de decisiones y b) la generación de programas y documentos de consumo, adquisición y pago de los recursos. En otras palabras era necesario establecer una administración efectiva de los “*recursos directos*” y debería estar basada en un proceso de planeación a partir del procedimiento de programación por medio de redes.

Los recursos que esta propuesta recomienda para una administración efectiva son: *materiales, fuerza de trabajo, maquinaria y equipo, subcontratos e indirectos*. Además se consideró que tanto los aspectos administrativos como los técnicos tendrían que ser mejorados. Los aspectos administrativos se refieren a lograr la disponibilidad de los recursos en la obra con las características de “puntualidad”, “cantidad adecuada” y “de acuerdo con las especificaciones”. Los aspectos técnicos se refieren a lo que también se conoce como *control del desempeño o ingeniería de costos*, y se trata de lograr que los “costos reales” y el “avance real” sean lo más cercano posible a los “planes” (programas, calendarios, presupuestos, flujo de efectivo, etc.).

El modelo propuesto incluye un esquema para cada uno de los recursos mencionados, pero sólo se muestra y se explica el de los materiales en este documento, por razones de espacio.

Administración de Materiales

En la encuesta los entrevistados mencionaron que, con respecto a los materiales, ellos buscan “calidad”, “precios competitivos” y “suministrados a tiempo”. Esto parece ser contradictorio con la práctica, pues para lograr lo anterior es indispensable realizar algunas tareas que normalmente se pasan por alto, o cuando menos no se les da la importancia debida, tales como la preparación de un *programa de adquisición de materiales*

que considere la capacidad y confiabilidad de los proveedores y los recursos financieros disponibles en la empresa. Aún más, dicho programa debiera ser lo suficientemente flexible para tomar en consideración posibles contingencias.

En la figura 6 se observa que el punto de partida es la información que proviene de de los siguientes programas: “de necesidades semanales”, “de consumo y suministro” y “de adquisición y pago”. El residente de obra tiene un papel muy importante en esta fase, con la función adicional de revisar y reportar el *consumo real de materiales*. El almacenista debe coadyuvar con esta tarea enlistando cada material entregado a los obreros (*vale de salida* de almacén). Es importante considerar que en cada vale de salida se debe especificar la actividad o grupo de actividades en los que el material será usado. Esta información es muy importante para el modelo, porque el material consignado en los vales forma parte de la información *costos reales* que corresponden al *avance real*, lo que tiene que ser comparado con *costos programados* y *avance programado* para la evaluación del desempeño del proyecto.

El residente puede generar y administrar esta información con facilidad a través de la HEIAP que ya se mencionó. Esto debería hacerse semanalmente de preferencia (quincenalmente a lo mucho), con el objeto de detectar desviaciones al programa y tomar decisiones oportunas.

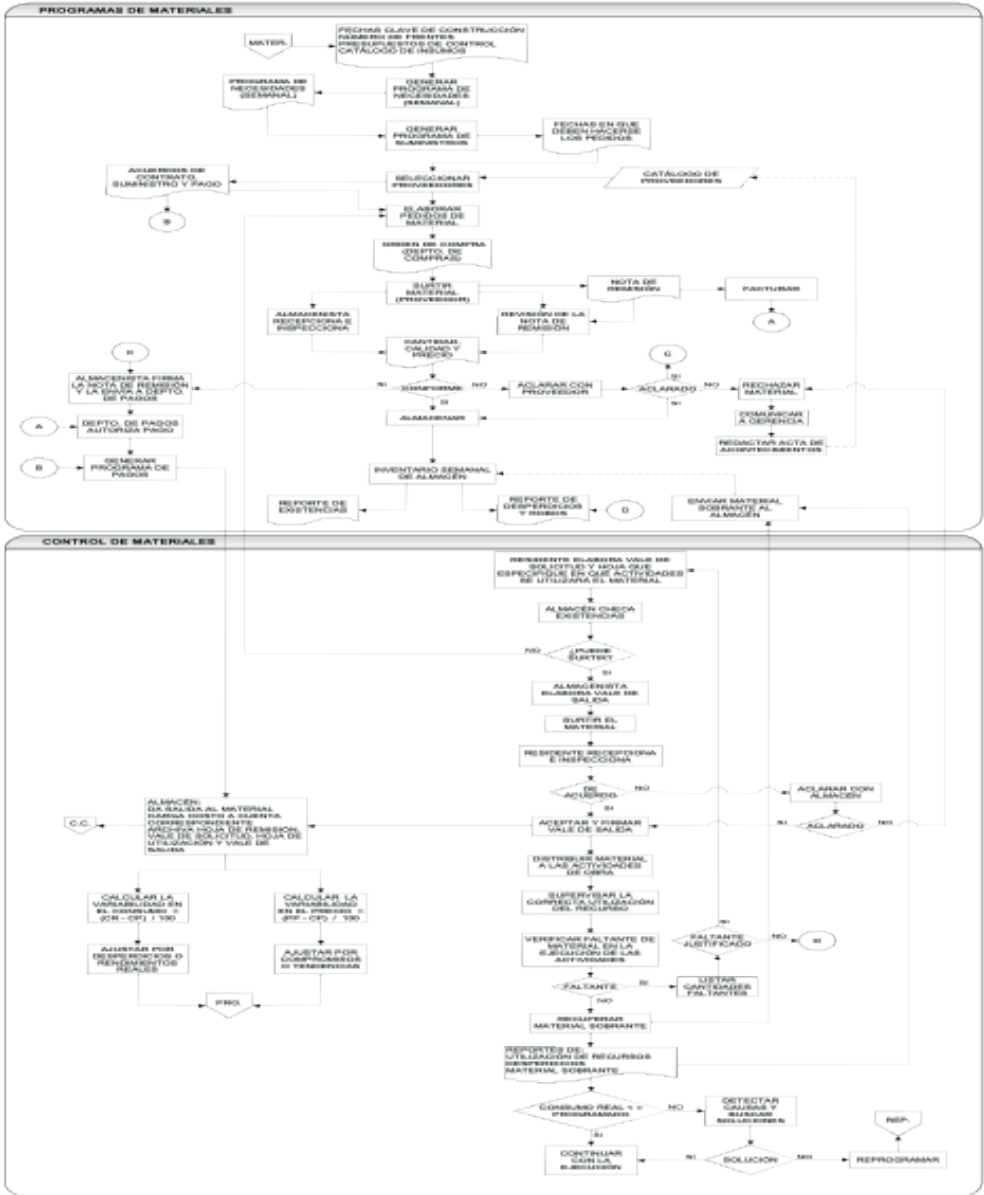


Figura 6. Administración de los materiales.

Control y pronóstico de costos

De acuerdo con la encuesta las PyMES tienen una clara idea del objetivo final de un buen *sistema de control*, cuya implementación es una respuesta no sólo a requisitos probablemente impuestos por el cliente, sino también a sus propios intereses. Sin embargo, con respecto a los recursos, no existe un consenso general acerca de “que debe ser controlado”. Por ejemplo, algunos se enfocan a la “administración de todos los recursos” (todos deben ser administrados), mientras que otros prefieren el “control de los recursos” (utilizando la Ley de Pareto).

El *control de costos* es un proceso que permite saber el desempeño real de un proyecto con respecto al costo y al tiempo. Durante la administración de los recursos, se genera una gran cantidad de información que tiene que ser recabada, organizada y analizada para ser comparada con los planes. Sólo entonces será posible identificar el origen de la variabilidad, evaluar los riesgos y tomar las decisiones pertinentes para mejorar el desempeño del proyecto (Isidore y Back, 2002). El *pronóstico de costos* es una herramienta fundamental para conocer las “tendencias en el desempeño” (costos futuros, por ejemplo). Ya que el pronóstico utiliza una gran cantidad de información generada durante la fase de control de los recursos, el modelo aborda ambas fases simultáneamente.

En esta propuesta se recomienda cinco diferentes etapas para llevar a cabo el control y el pronóstico de costos, como se muestra en la figura 7:

- a. Determinación del *avance real*. De aquí es relativamente fácil obtener el trabajo real terminado. Se aconseja efectuar esta tarea semanalmente.
- b. Determinación de los *costos programados* de acuerdo al avance real (valor real del proyecto). Es fácil de obtener ingresando el avance real en la HEIAP. Esta tarea debe ser realizada semanalmente o quincenalmente cuando mucho.
- c. Obtención de los *costos reales* correspondientes al trabajo real efectuado. El ingreso de los costos reales en el sistema debe realizarse diariamente, pero no más de una vez por semana dependiendo del tipo de recurso.
- d. Preparación del *reporte y evaluación del control de costos*. Estos reportes deben prepararse con una periodicidad no mayor a las dos semanas con el objeto de poder tomar decisiones oportunas.
- e. Elaboración del *pronóstico de costos*. Aquí la idea es determinar las tendencias de costos futuros e inferir el costo final, ganancia y precio de venta finales, contingencias reales y fecha final de terminación de los trabajos.

DESARROLLO DE LAS HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

El objetivo de esta etapa del estudio fue desarrollar un sistema computacional que automatizara el manejo de información que se genera durante la administración de los proyectos de las PyMES, auxiliando específicamente durante los procesos de planeación de la ejecución, el control de costos y la toma de decisiones.

El desarrollo se dividió en tres etapas, considerando que ya se contaba con los requerimientos de los sistemas, obtenidos a través de la encuesta, y con el modelo conceptual. La primera etapa fue la estructuración del sistema utilizando la ayuda de una herramienta CASE (Computer Aided Software Engineering) la cual permitió establecer las clases y superclases que conforman la estructura interna del sistema así como sus relaciones entre ellas. Durante esta etapa, llamada también *arquitectura del software*, se decidió la creación de dos sistemas computacionales que luego se le denominaron TitanWfi y ControlWfi, los cuales a su vez fueron divididos en módulos y submódulos. Fueron diseñados utilizando el desarrollo multicapa. El diseño se hizo con base en la identificación de las entidades de negocio para los casos de uso principales detectados durante la fase de obtención de requerimientos. También fueron identificadas las relaciones entre las entidades y las reglas de negocio que son pertinentes de acuerdo a las necesidades de los usuarios en cuanto a los procesos que deben efectuar estos sistemas.

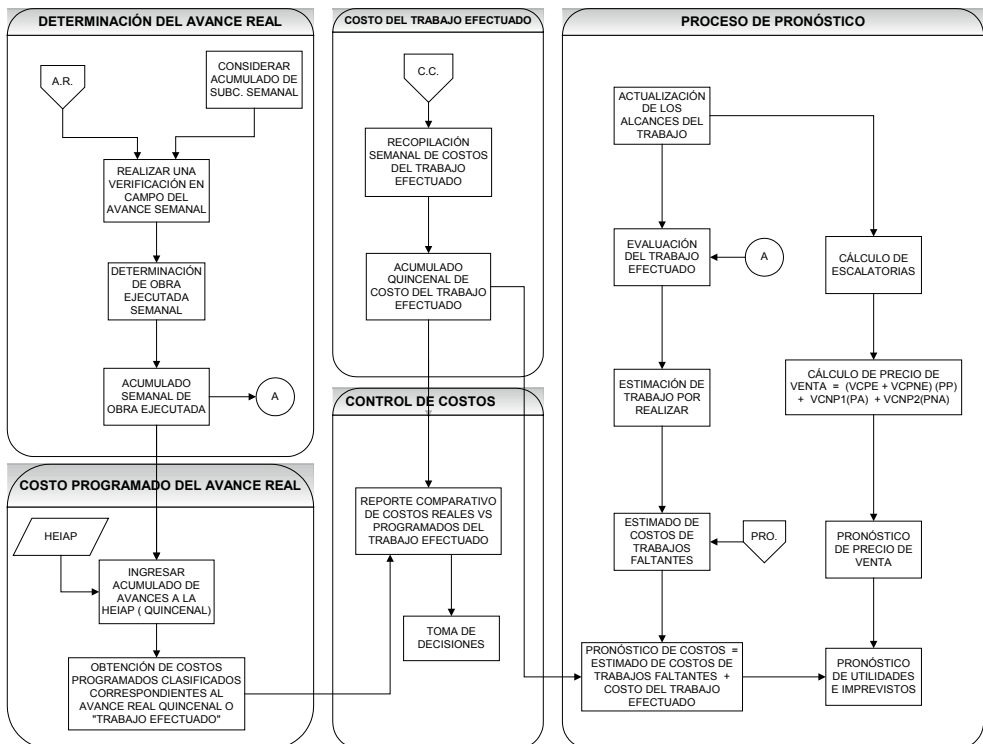


Figura 7. Control y pronóstico de costos.

En esta etapa también se definió cuales entidades dentro del sistema serían persistentes en el tiempo y se definió la base de datos con todos sus atributos y relaciones. Se eligió Microsoft Access Jet 4.0 como manejador de las Bases de Datos. En la figura 8 se muestra un ejemplo de una porción del diagrama E-R (Entidad – Relación) que muestra cuales entidades se relacionan entre sí y como lo hacen. En este caso se muestra una orden de compra del sistema de ControlWfi.

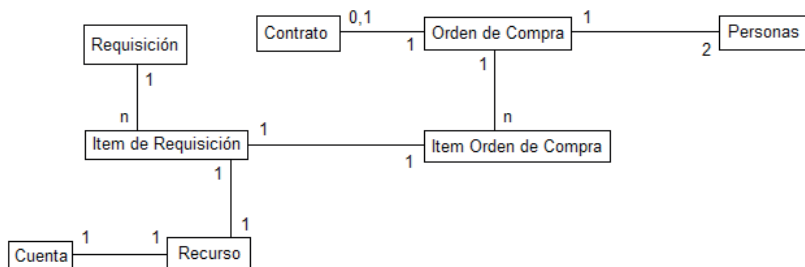


Figura 8. Diagrama E-R (Entidad – Relación).

En la segunda etapa se definió la interfase de usuario la cual permitió manejar las entidades y la base de datos, desde el punto de vista del usuario final. Se escogió Visual Basic como herramienta para desarrollar los dos sistemas.

En la última etapa se procedió a probar la implementación de todas las funciones de los dos sistemas, se elaboraron manuales y tutoriales guías para su utilización y para la capacitación de futuros usuarios del mismo.

El programa TitanWfi, se encuentra totalmente concluido y ha sido probado y evaluado en proyectos reales. Los submódulos que lo integran son los siguientes:

- Creación “manual” de actividades.
- Creación “automática” de una estructura de actividades (que puede ser ajustada), a partir de la importación de un presupuesto creado en software existente para la elaboración de precios unitarios y desplegado en forma gráfica mediante un diagrama de árbol.
- Establecimiento de las relaciones entre actividades, utilizando el método de programación conocido como PDM (Método del Diagrama de Precedencias) del cual el CPM (Método de la Ruta Crítica) sería una derivación. Moder y Phillips (1997).
- Asignación de duraciones a las actividades, con ayudas para estimarlas a través de consultas al software de precios unitarios.
- Cálculo de la red de actividades, elaboración de diagramas y calendarización.
- Asignación de recursos por actividad, transfiriendo los recursos del software de precios unitarios y llevando el record de que operaciones ha realizado y la

contabilidad de los recursos del presupuesto que han sido asignados.

- Distribución de los recursos por actividad y cálculo de los programas de consumo, adquisición y pago de los recursos, permitiendo una organización estructurada de la información
- Creación del catálogo de cuentas a partir de la organización estructurada de los recursos.

El programa ControlWfi no ha sido concluido en su totalidad, pero varios de sus módulos ya han sido probados y evaluados en proyectos reales. Los módulos de que consta son los siguientes:

- Módulo para la administración de los materiales, que puede realizar la siguientes acciones:
 - Programar los materiales.
 - Crear reportes de necesidades de materiales.
 - Crear requisiciones de material.
 - Elaborar órdenes de compra de materiales.
 - Crear registros de las entradas de material a almacén.
 - Crear registros de las salidas de material de almacén.
 - Crear gráficas de existencias en almacén.
 - Crear reportes del manejo de los materiales.
- Módulo para la administración de la mano de obra, que puede realizar las siguientes acciones:
 - Programar la mano de obra.
 - Crear reportes de reclutamiento.
 - Crear estimaciones de destajos.
 - Crear reporte de estimaciones.
- Módulo para la administración de la maquinaria y equipo, que puede realizar las siguientes acciones:
 - Programar la maquinaria y equipo.
 - Controlar el uso de horas máquina.

Módulo para la administración de los subcontratos, que puede realizar las siguientes acciones:

- Programar los subcontratos.
- Crear las estimaciones del avance de los subcontratos.

- Módulo para la administración de los indirectos, que puede realizar las siguientes acciones:
 - Crear registros de los gastos indirectos.

- Módulo para el control de los costos, que puede realizar las siguientes acciones:
 - Determinar el avance real de las actividades.
 - Crear curvas de costos acumulados.
 - Crear reportes detallados sobre el desempeño del proyecto.

Adicionalmente, ambos programas cuentan con submódulos o herramientas que permiten:

- Manejar la base de datos.
- Manejar el catálogo de personas y proveedores.
- Manejar el catálogo de almacenes.
- Manejar las cuentas de costos.
- Manejar el catálogo de materiales.
- Manejar el catálogo de mano de obra.
- Manejar el catálogo de maquinaria y equipo.
- Manejar el catálogo de subcontratos.
- Manejar el catálogo de indirectos.
- Importar registros de recursos de un presupuesto.

En las Figura 9 y 10 se muestran pantallas de los programas TitanWfi y ControlWfi.

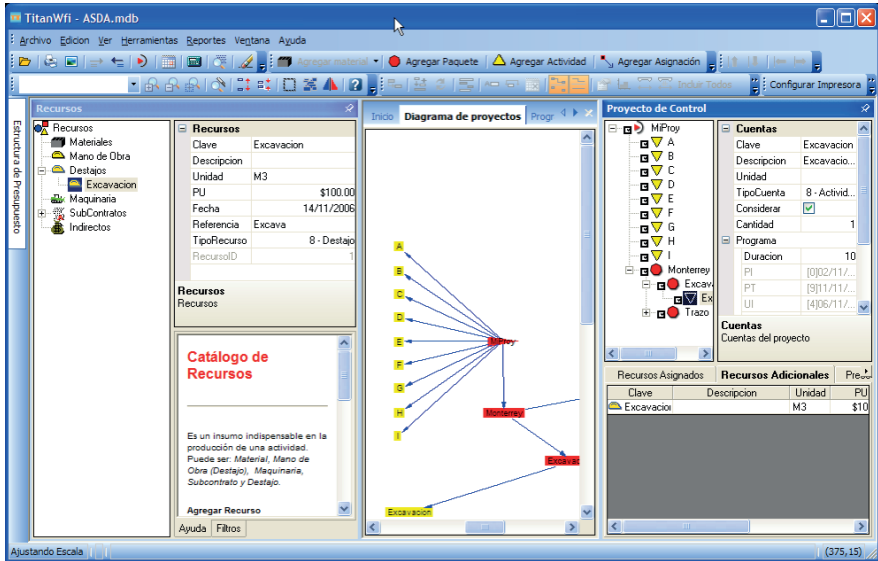


Figura 9. Pantalla de TitanWfi.

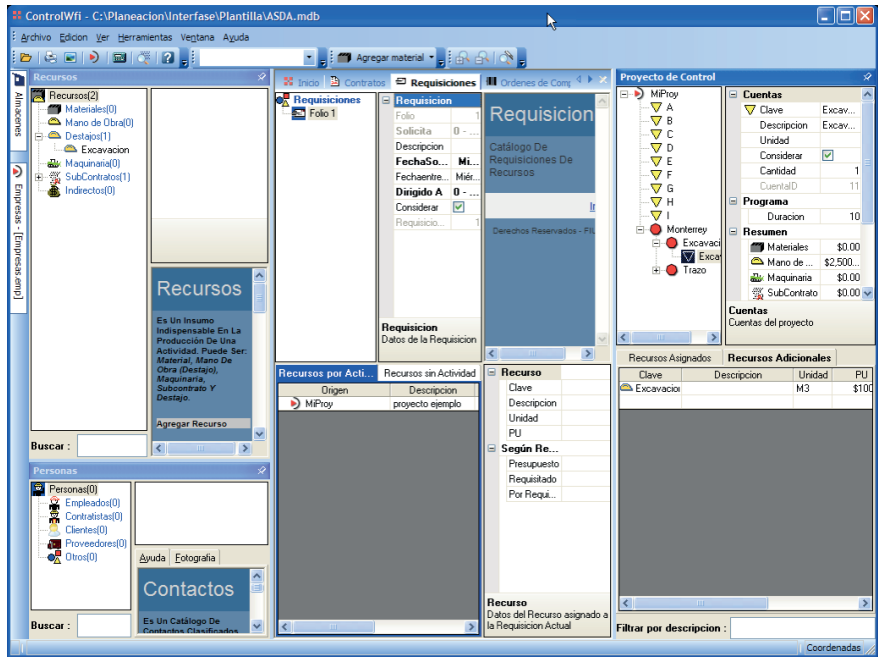


Figura 10. Pantalla de ControlWfi.

CONCLUSIONES

- La planeación de proyectos es abordada de una manera muy superficial por las PyMES de construcción. Se basa principalmente en experiencias pasadas, escasamente documentadas y un análisis riguroso de información se hace sólo de manera ocasional.
- Después de que un contrato es asignado, las PyMES no se dedican a preparar un plan detallado de la ejecución del proyecto, el cual es indispensable para poder realizar un control integral.
- En consecuencia se propone un modelo sistema integral para la planeación y control de proyectos, que entre otras cosas integra el costo y el tiempo y fue diseñado para responder a las necesidades de un escenario común que se presenta en las empresas antes de iniciar la ejecución de sus proyectos de construcción. El modelo incorpora la valiosa opinión de expertos y administradores de proyectos. Su objetivo fue hacer las veces de guía para que las PyMES puedan llevar a cabo de manera expedita sus procesos de planeación detallada y precontrol; debe ser la base también para una administración efectiva de los recursos, del costo y del tiempo.
- Se desarrollaron también las herramientas para facilitar las tareas incluidas en el modelo propuesto, consistentes en dos programas de cómputo denominados TitanWfi y ControlWfi. El primero se encarga de la fase de planeación detallada y el segundo de la administración de los recursos y el control de costos y tiempo.
- El modelo conceptual propuesto y el software desarrollado constituyen el prototipo de un sistema integral para la planeación y control de los proyectos de construcción de la PyMES, debiendo tener la característica de ser lo suficientemente flexible para que sea adaptado a los requerimientos específicos de las empresas.

REFERENCIAS

Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción – CMIC (2004). “Information provided by Lic. Víctor Lozano García in a Excell file”, *Head of CMIC’s Economics and Statistics*, November, 2004.

Syal, M G, Grobler, F, Willenbrock, J H, and Parfitt, M K (1992) Construction Project Planning Process Model for Small-Medium Builders. *Journal of Construction Engineering and Management*, (New York), Vol. 118, No. 4, p. 651-666.

González F, J A y Domínguez L, J A (1998) Sistema integral automatizado de control de costos de construcción para empresas medianas. *Revista Ingeniería de Construcción*, (Chile), No. 18, pp. 16-32.

González F, J A y Tirado N, I (1998) Prototipo de un sistema para la administración de materiales en proyectos de construcción masiva de viviendas. *Ingeniería, Revista académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán*, (México), Vol. 2, No. 3, pp. 21-42.

Liberatore, M J, Pollack-Johnson, B, and Smith, C A (2001) Project Management in Construction: Software Use and Research Directions. *Journal of Construction Engineering Management* (Reston), Vol. 127, No. 2, pp. 101-107.

Yin, R K (1994) *Case Study Research: Design and Methods*, Sage Publications, California, 170 pp.

Cochran, W G (1986) *Técnicas de muestreo*, CECSA, México, 513 pp.

Russel, J S, Jaselskis, E J and Lawrence, S P (1997) Continuous Assessment of Project Performance. *Journal of Construction Engineering Management* (Reston), Vol. 123, No. 1, pp. 64-71.

Isidore, L J and Back, W E (2002) Multiple Simulation Analysis for Probabilistic Cost and Schedule Integration. *Journal of Construction Engineering Management*,t (Reston), Vol. 128, 2002, No. 3, pp. 211-219.

Moder, J. J., Phillips, C. R., and Davis, E. W. (1995) *Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming*, Blitz Pub Co, EEUU, 1995.

CAPÍTULO 4

FACTOR DE MODIFICACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL PARA EDIFICIO HÍBRIDO ESTRUCTURADO EN HORMIGÓN ARMADO Y ELEMENTOS DE MADERA LAMINADA Y CONTRALAMINADA

Fecha de aceptación: 01/07/2024

B. Romero

Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

S. Silva

Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

P. González

Académica, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

J. Vielma

Académico, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

RESUMEN: En este trabajo se presenta la determinación del factor de modificación de la respuesta sísmica, R , de un edificio híbrido de 9 pisos, estructurado con dos núcleos de hormigón armado, columnas de madera laminada y losas de madera contralaminada. Cada núcleo está conformado por tres muros de sección transversal en forma de C. Se utiliza el programa computacional ETABS para realizar el análisis sísmico del modelo estructural. El factor R se determina empleando el método contenido en el ATC-19, y se utiliza el método de los coeficientes para determinar el punto de desempeño

de la estructura, como se especifica en FEMA-356. En el análisis se considera que las deformaciones no-lineales se producen en los muros de hormigón armado y que los elementos de madera, así como las conexiones entre elementos de madera y entre elementos de madera y de hormigón armado, se mantienen en el rango lineal-elástico de deformación. Como resultado del estudio, se obtienen valores para R de 5.3, 5.5 y 6; además, se verifica que el edificio satisface las limitaciones de desplazamiento relativo de entrepisos que prescribe la norma chilena de diseño sísmico de edificios NCh 433.

PALABRAS-CLAVE: edificios híbridos en madera, factor R , diseño sísmico, madera contralaminada, madera laminada

ABSTRACT: In this work determination of modification factor of seismic response, R , of a 9 stories hybrid building is presented. The building is structured with two reinforced concrete nucleuses, glued laminated timber columns and cross laminated timber slabs. Each reinforced concrete nucleus is made of three walls of transverse sections in C shape. ETABS computer program is used to carry out seismic analysis of the structural model. Factor R is determined using ATC-19

method and the method of coefficients to determine the point of performance of the structure, as specified in FEMA-356. In the analysis, it is considered that non-linear deformations are produced in reinforced concrete walls, and that the timber elements, as well as connections between timber elements and between timber elements and reinforced concrete, are kept in the elastic-linear deformation rank. As a result of this study, values gotten for R are 5 and 6; moreover, it is verified that the building satisfies limitations of stories drift, prescribed by the Chilean code of buildings seismic design NCH 433.

KEYWORDS: hybrid timber buildings, R factor, seismic design, cross laminated timber, glued laminated timber

INTRODUCCIÓN

La construcción de edificios utilizando el sistema constructivo en madera contralaminada (CLT) se ha incrementado en los últimos 20 años debido a las ventajas que presenta la madera y el sistema CLT; entre ellas, se puede mencionar su capacidad de aislación térmica, que permite ahorro de energía para mantener ambientes confortables en las viviendas, su buen comportamiento sísmico, debido a su alta relación resistencia- peso en comparación con materiales de construcción tradicionales y a su característica de material ecológicamente sustentable y con una baja huella de carbono. [1, 2, 3]. Además, este sistema permite la prefabricación y es industrializable [2] de tal manera que los tiempos de construcción resultan inferiores a aquellos que se requiere en las construcciones con materiales tradicionales. Sin embargo, el sistema CLT solo puede ser utilizado en edificios de mediana altura, particularmente en países que presentan alta sismicidad; por lo tanto, con el objeto de lograr mayores alturas, se debe incorporar en el diseño otros materiales que aporten mayor rigidez al sistema sismorresistente del edificio, como hormigón armado o acero [Quintana 4]. Entonces, en atención a que el sistema CLT así como los sistemas híbridos son innovadores y que su introducción en Chile se encuentra en estudio [5, 6, 7, 8, 9, 10] para generar la normativa que facilite su utilización, en este trabajo se determina el valor del factor de reducción de la respuesta sísmica, R, de un edificio de 9 pisos, conformado por muros de hormigón armado, columnas de madera laminada y losas de madera contralaminada.

MODELO ESTRUCTURAL

El primer piso del edificio analizado, cuya planta se muestra en la Fig. 1, contempla muros y losa de cielo de hormigón armado que se representan con elementos finitos tipo shell-thick. Las losas de los pisos 2 a 9 son de CLT las cuales se modelan como membranas unidireccionales y los elementos perimetrales corresponden a columnas de madera laminada modeladas como elementos tipo frame. En la Fig. 2 se muestra la planta tipo de los pisos 2 a 9 y en la Fig. 3 se presenta una vista estereométrica del edificio.

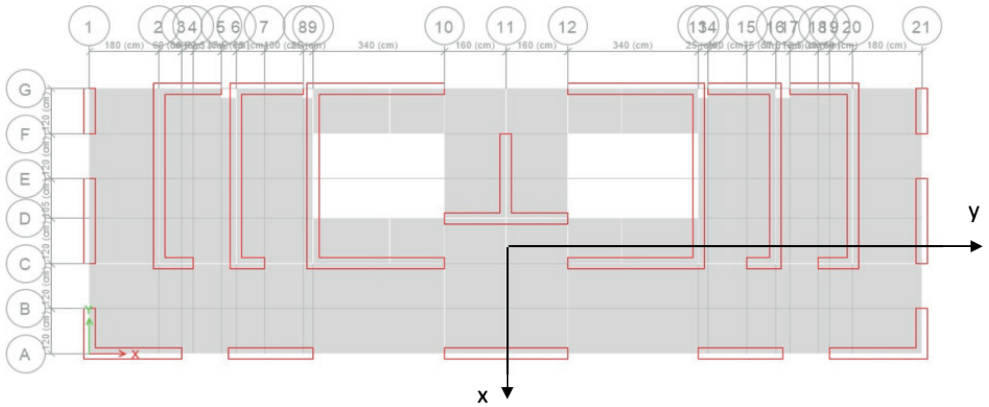


Fig. 1 - Planta del primer piso del edificio

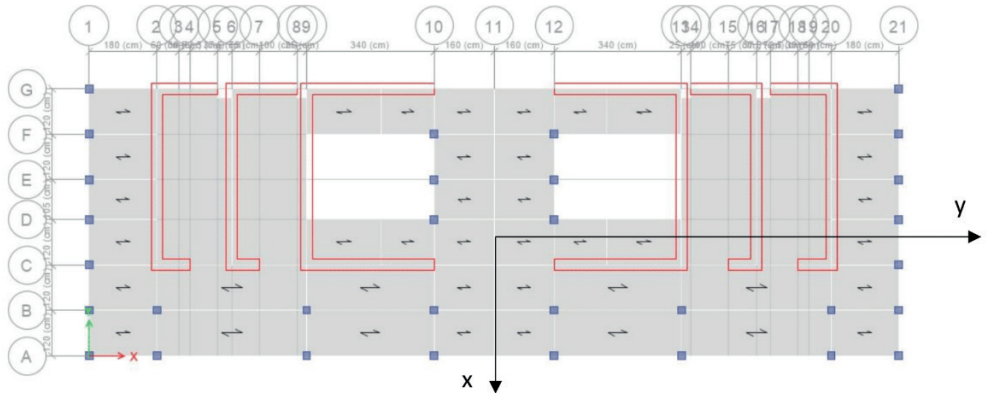


Fig. 2 - Planta tipo de los pisos 2 a 9 del edificio

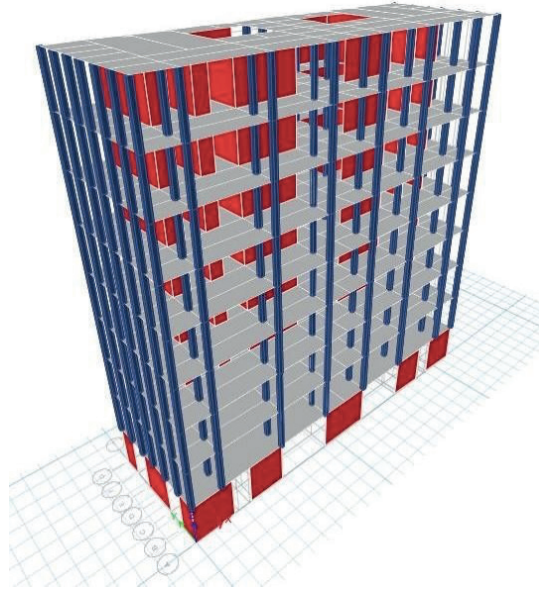


Fig. 3 – Vista estereométrica del edificio

La determinación de las propiedades dinámicas del edificio se realiza considerando comportamiento lineal-elástico del modelo.

Para el cálculo del valor del factor de modificación de la respuesta sísmica se incluye la no-linealidad en los 6 muros de los dos núcleos de hormigón armado del modelo estructural.

FACTOR DE MODIFICACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA

Para determinar el factor de modificación de la respuesta sísmica, R , se utiliza el método descrito en el documento ATC-19 [11], de acuerdo con la Ec. (1)

$$R = R_s R_\mu R_R \quad (1)$$

Donde:

R_s : Factor de resistencia, que depende de los cortes basales último y de diseño.

R_μ : Factor de ductilidad, que depende del período natural del edificio.

R_R : Factor de redundancia que, en este caso, se considera unitario.

En conformidad con ATC-19, el factor de resistencia se determina aplicando la Ec. (2)

$$R_S = \frac{V_0}{V_d} \quad (2)$$

Los términos de la Ec. (2) corresponden a lo que se indica [11]:

V_0 : Corte basal máximo en el estado límite de respuesta del edificio en un análisis no-lineal estático.

V_d : Corte basal de diseño.

El factor de ductilidad depende del valor del período natural, de acuerdo con las expresiones de la Ec. (3) que se muestran a continuación [11]:

$$R_\mu = \begin{cases} 1.0 & T_n \leq 0.03 \\ \sqrt{2\mu - 1} & 0.12 \leq T_n \leq 0.5 \\ \mu & T_n \geq 1.0 \end{cases} \quad (3)$$

Donde T_n es el período natural del edificio, medido en segundos.

Los valores intermedios del factor de ductilidad se obtienen por interpolación lineal entre los valores límite de los rangos especificados en la Ec. (3).

Para determinar los valores de los factores R_S y R_μ se realiza un análisis no-lineal mediante el método estático incremental y el método de las áreas equivalentes para obtener la curva de capacidad del edificio [12]. En las Fig. 4, 5 y 6 se muestran las curvas de capacidad idealizadas del edificio, en las direcciones x, y positivo e y negativo, respectivamente.

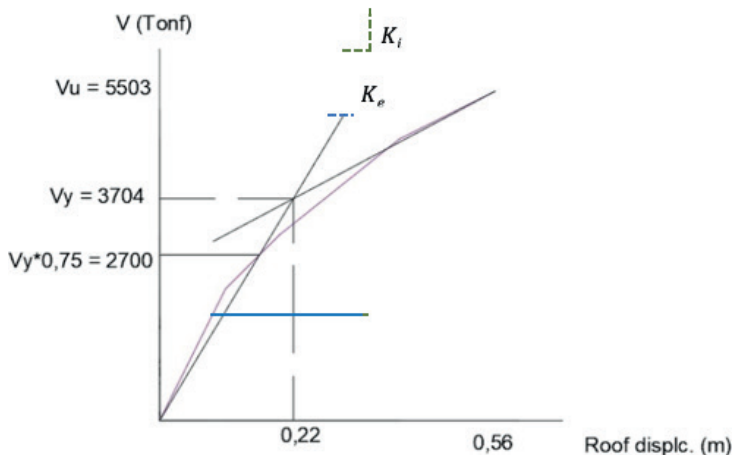


Fig. 4 – Curva idealizada de desempeño en la dirección x del edificio.

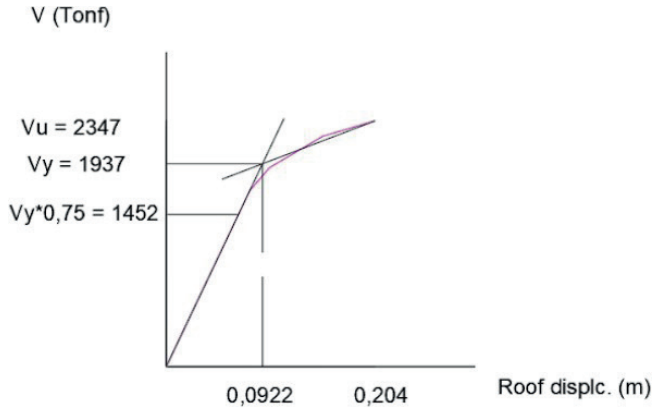


Fig. 5 – Curva idealizada de desempeño en la dirección y positiva del edificio.

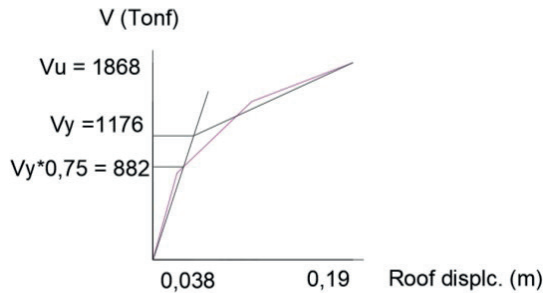


Fig. 6 – Curva idealizada de desempeño en la dirección y negativa del edificio.

El punto de desempeño de la estructura se determina empleando el método de los coeficientes [12]. En este procedimiento, se determina el desplazamiento objetivo con la expresión siguiente [12], Ec. (4):

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (4)$$

Donde:

$C_0 = 1.3$: Factor que relaciona el desplazamiento espectral de un sistema de un grado de libertad con el desplazamiento de techo del edificio.

$C_1 = 1.4$: Factor que relaciona el desplazamiento no lineal máximo esperado con el desplazamiento de la respuesta lineal elástica del edificio.

$C_2 = 1.0$: Factor que representa el efecto de la degradación de rigidez y de la pérdida de resistencia del sistema.

$C_3 = 1.0$: Factor que representa el incremento de desplazamiento debido al efecto dinámico $P - \Delta$.

S_a : Valor del espectro de respuesta de aceleraciones para el período efectivo del edificio en la dirección de análisis.

T_e : Período efectivo fundamental del edificio en la dirección de análisis, según Ec. (5) [12].

g : Aceleración de gravedad.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (5)$$

T_i : Período fundamental de un modelo lineal-elástico del edificio.

K_i : Rigidez lateral elástica del edificio obtenido de la curva corte basal-deformación de techo del edificio en la dirección de análisis. Ver Fig. 4.

K_e : Rigidez lateral efectiva del edificio obtenido de la curva corte basal-deformación de techo del edificio en la dirección de análisis. Ver Fig. 4.

En la Tabla 1 se muestran los valores de los parámetros del edificio que se obtienen de las curvas de capacidad, Figs. 4, 5 y 6 y de la aplicación de las ecuaciones 4 y 5 [13].

Los valores de los factores de resistencia y de ductilidad, así como los valores de los parámetros que permiten su cálculo, obtenidos de las curvas de capacidad idealizadas y de las Ecs. 1, 2 y 3, se incluyen en la Tabla 2 [13].

Parámetro	Dirección x	Dirección y positiva	Dirección y negativa
T_i	0,35	0,27	0,27
K_e	16836	21000	30947
K_i	20300	21008	35780
T_e	0,38	0,27	0,29
T_S	1,04	1,04	1,04
$S_d(T_e)$	13,66	11,79	11,90
δ_t	0,093	0,037	0,035

Tabla 1 – Períodos equivalentes y desplazamientos objetivo del edificio [13].

Parámetro	Dirección x	Dirección y positiva	Dirección y negativa
V_0 (tonf)	5503	2347	1868
V_d (tonf)	1860	777	1058
R_S	2,96	3,02	1,76
δ_{max} (m)	0,56	0,20	0,19
δ_y (m)	0,22	0,092	0,038
R_μ	2,02	1,83	3,00
R	6,0	5,5	5,3

Tabla 2 – Factores de resistencia, de ductilidad y de modificación de la respuesta sísmica [13].

ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL

El análisis modal espectral se realiza empleando la norma chilena NCh 433 [14]. Los parámetros asociados a las características de sitio y al sistema estructural del edificio se muestran en la Tabla 3. Las propiedades del modelo lineal y los parámetros globales de diseño del edificio se incluyen en la Tabla

En las Figs. 7 y 8 se exponen los espectros de aceleraciones, determinados en conformidad con las disposiciones de la norma chilena NCh 433 [14], en las direcciones x e y, respectivamente.

Parámetro	Concepto o valor	Parámetro	Valor
Sistema y material estructural	Sin clasificación	R	5,3 ⁽¹⁾
		R_0	5,3 ⁽²⁾
Categoría del edificio	II	I	1
Zona sísmica	3	A_0	0,4 g
Tipo de suelo	D	S	1,2
		T_0	0,75
		T'	0,85
		n	1,8
		p	1

(1) Se utiliza el valor menor de R obtenido en el análisis estático incremental

(2) Para determinar los espectros de aceleraciones de diseño se asigna a R_0 el mismo valor obtenido para R

Tabla 3 – Parámetros de sitio de emplazamiento y de uso del edificio.

Parámetro	Valor
Peso sísmico (tonf)	1659
T_x^*	0,35
T_y^*	0,27
R_x^*	3,4
R_y^*	3,2

Tabla 4 – Propiedades dinámicas del edificio [13].

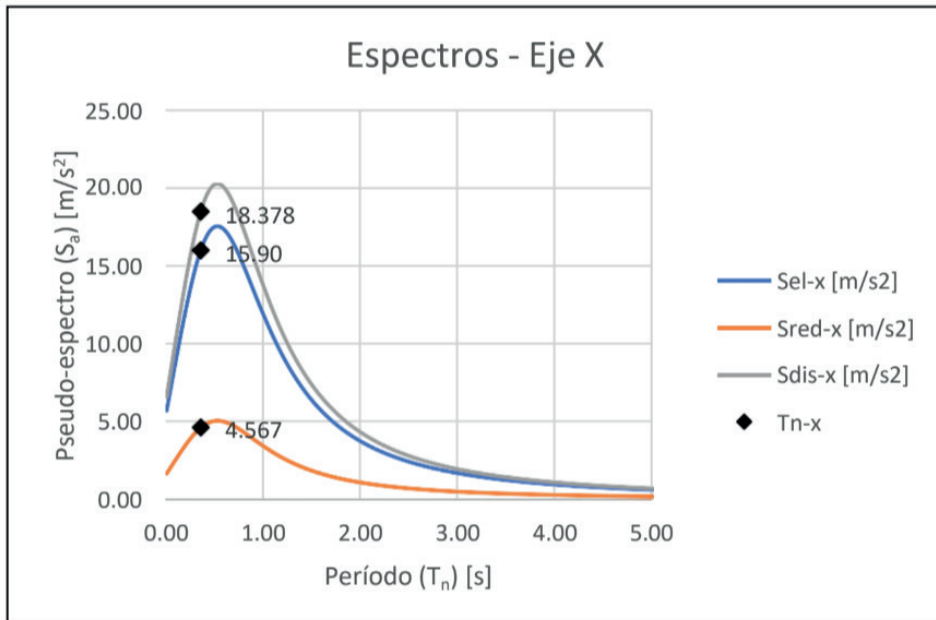


Fig. 7 – Espectros en la dirección x [13].

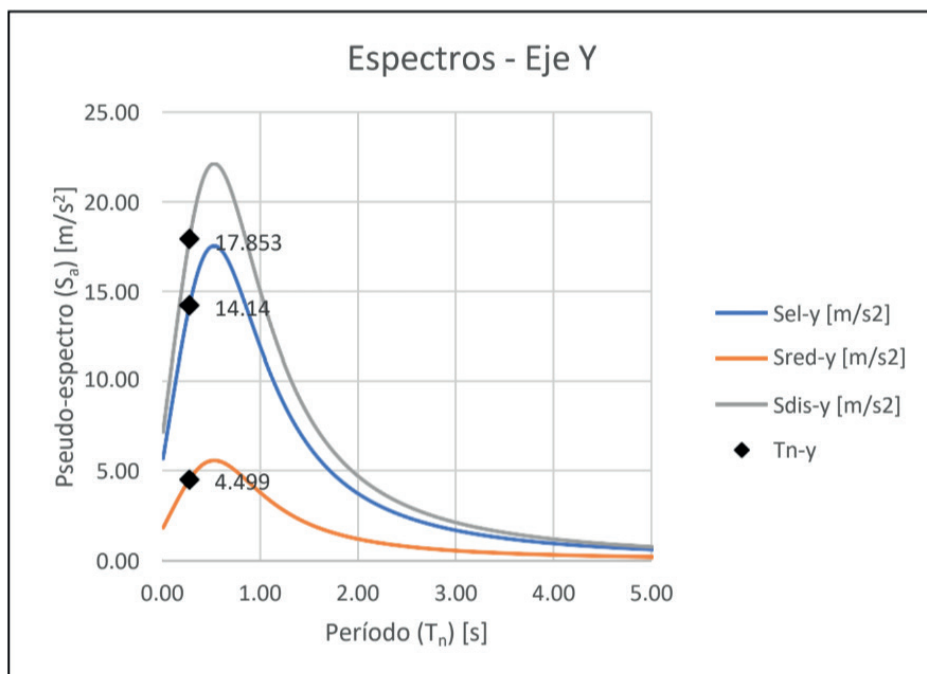


Fig. 8 – Espectros en la dirección y [13].

En la Tabla 5 se muestran los resultados del análisis modal espectral, cortes basales y las derivas máximas de entrepiso del edificio. Con estos resultados, se verifica que el edificio de 23,4 m de altura total y de 2,6 m de altura de entre-piso satisface los valores máximos de desplazamiento relativo que establecen las disposiciones de la norma chilena NCh 433 [14].

Parámetro	Dirección x	Dirección y
Corte basal (tonf)	408	411
Δ_{max} entre piso, centro de masa (mm)	3,3	2,1
Δ_{max} entre piso, centro de masa NCh433, (mm)	5,2	5,2
Δ_{max} entre piso, rotacional (mm)	0,41	0,03
Δ_{max} entre piso, rotacional NCh433, (mm)	2,6	2,6

Tabla 5 – Resultados del análisis modal espectral del edificio [13].

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado el análisis no-lineal estático de un edificio híbrido madera-hormigón armado de 9 pisos para obtener valores del factor de reducción de la respuesta sísmica, R. Se ha utilizado la metodología del ATC-19 y del FEMA-356, determinándose valores de 5.3, 5.5 y 6.0 para este factor. Además, en atención a que se trata de un sistema estructural innovador para Chile, se efectúa el análisis modal espectral utilizando un modelo lineal-elástico del edificio y las disposiciones de la norma chilena NCh433. La aplicación de esta norma determina valores de R* menores a 4.0 para obtener los espectros de diseño. Los resultados del análisis modal espectral permiten concluir que el edificio satisface los valores máximos admisibles de desplazamientos contenidos en las disposiciones de esta norma.

REFERENCIAS

1. Izzi M, Casagrande D, Bezzi S, Pasca D, Follesa M, Tomasi R. Seismic behaviour of cross-laminated timber structures: A state-of-the-art review. *Engineering Structures* 2018; 170: 42-52.
2. Brandner R, Flatscher G, Ringhofer A, Schickhofer G, Thiel A. Cross laminated timber (CLT): overview and development. *Eur. J. Wood Prod.* 2016; 74: 331-351. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0999-5>.
3. FPIInnovations. Canadian CLT Handbook. Ed by Karacabeyli E, Gagnon S. 2019. Digital Format ISBN 978-0-86488-592-0. www.fpinnovations.ca.
4. Quintana G, Carradine D, Bazaev R. State of the art and practice of seismic-resistant hybrid timber structures. *Eur. J. of Wood and Wood Prod.* Published online: 15 October 2020; <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01556-3>.

5. González P, Saavedra E, Pérez E, Burgos C, Piña F, Wagner M. 2015. Sistema constructivo en madera contralaminada para edificios. Ed. Universidad de Santiago de Chile. <https://documentcloud.adobe.com/link/review?uri=urn:aaid:scds:US:ff289480-573c-4d0d-9d72-75162972456e>
6. González P, Burgos C, Saavedra E, Burgos C, Valdivieso D, Wagner M. 2019. Sistema constructivo en madera contralaminada para edificios. Ed. Universidad de Santiago de Chile. <https://documentcloud.adobe.com/link/review?uri=urn:aaid:scds:US:ebdb215c-dc61-4513-bee0-2a26a2db1ceb>
7. Ulloa C, Valdivieso D, González P, Burgos C. 2019. Diseño de edificio de mediana altura en madera contralaminada (CLT) de pino Oregón mediante el uso de normas chilenas y manuales americanos. *Proceedings XII Congreso chileno de sismología e Ingeniería antisísmica*. Valdivia, Chile.
8. Valdivieso D, Ulloa C, Ríos L, González P, Pérez E, Burgos C. 2019. Determinación del factor de modificación de la respuesta estructural para edificio estructurado con muros y losas de madera contralaminada (CLT). *Proceedings XII Congreso chileno de sismología e Ingeniería antisísmica*. Valdivia, Chile.
9. Rojas X. 2020. Estado del arte de edificios híbridos de hormigón armado y madera contralaminada. Proyecto de título de Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
10. Ávila F, Dechent P, Opazo A. 2021. Seismic Behaviour evaluation of CLT horizontal diaphragms on hybrid buildings with reinforced concrete shear walls. *Engineering Structures*. 244. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112698>.
11. ATC-19. 1995. Structural response modification factors. National Science Foundation. National Center of Earthquake Engineering Research. Redwood City, California, USA.
12. FEMA – 356. 2000. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. American Society of Civil Engineers. Reston, Virginia, USA.
13. Romero B, Silva S. 2022. Prediseño y estimación del factor de modificación de respuesta R de un edificio híbrido madera contralaminada – hormigón armado. Proyecto de título de Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
14. Instituto Nacional de Normalización (INN). 2012. NCh433.Of 96. Modificada en 2012. Diseño sísmico de edificios.

PROYECTO INTEGRAL DE MANEJO DE CUENCAS EN 1.670 HECTÁREAS CON INFLUENCIA EN LA RUTA PROVINCIAL 23 - PROVINCIA DE SALTA

Fecha de envío: 13/05/2024

Fecha de aceptación: 01/07/2024

Marcelo Daniel Arzelán

Ing. Marcelo Arzelán y Asoc.
Salta, Argentina

https://drive.google.com/file/d/1Wdhp_hgqD5T-yWNknHQ4my4ubZRqUUUD/view?usp=sharing

Silvana Alejandra Castrillo

Universidad Nacional de Salta, argentina

<https://drive.google.com/file/d/1WdNC6aTuf-5GYon7dDyF27KM2eytCQD2/view?usp=sharing>

Javier Ramos Vernieri

YSATI, argentino

<https://drive.google.com/file/d/1WbrxXYcxDNJ6HftyQjLanjMnCyczErhu/view?usp=sharing>

RESUMEN: El “Proyecto Integral de Manejo de Cuencas en 1.670 hectáreas con Influencia en Ruta Provincial 23 – Provincia de Salta” se desarrolla en el Valle de Lerma, abarcando los Departamentos de Cerrillos y Rosario de Lerma en Salta, Argentina. Con un área de alrededor de 5.146 hectáreas, esta porción del valle es una llanura aluvial con una pendiente general del 1% en dirección NO-SE. El proyecto

aborda la gestión de los escurrimientos superficiales que afectan la infraestructura vial, particularmente la Ruta Provincial 23. Se propone la construcción de 7 represas de detención que funcionarán como laminadoras en verano y almacenarán agua para riego en el resto del año. Además, se plantea la creación de 14 terrazas colectoras de agua y terrazas secundarias, junto con medidas no estructurales. El estudio incluyó la recopilación de antecedentes, el relevamiento planialtimétrico, la separación en microcuencas, y el estudio hidrológico/hidráulico. Se identificaron 28 subáreas de escurrimiento y se realizó un diagnóstico de la situación actual de las microcuencas. Se propuso un anteproyecto con medidas para el manejo de cuencas y se desarrolló un estudio hidrológico/hidráulico para la situación con proyecto. El proyecto tiene como objetivo atenuar el hidrograma de entrada de los escurrimientos y atrasar el pico de escurrimiento, evitando así la erosión del suelo y disponiendo de agua para riego. Se destacan los acuerdos con los productores locales para mantener las represas abiertas en verano y cerradas desde abril para almacenar agua de riego. El proyecto fue desarrollado en colaboración con el Consejo Federal de Inversiones, la

Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia y la Dirección Provincial de Vialidad, y ha generado convenios beneficiosos para la comunidad y los productores locales.

PALABRAS CLAVE: Valle de Lerma, Escurrimientos, Ordenación hidrológica, Represas de detención, Impacto ambiental.

INTEGRAL WATERSHED MANAGEMENT PROJECT IN 1,670 HECTARES WITH INFLUENCE ON PROVINCIAL ROUTE 23 - PROVINCE OF SALTA

ABSTRACT: The “ INTEGRAL WATERSHED MANAGEMENT PROJECT IN 1,670 HECTARES WITH INFLUENCE ON PROVINCIAL ROUTE 23 - PROVINCE OF SALTA” is developed in the Lerma Valley, covering the Departments of Cerrillos and Rosario de Lerma in Salta, Argentina. With an area of around 5,146 hectares, the valley is an alluvial plain with a general slope of 1% in the NW-SE direction. The project addresses the management of surface runoff affecting the road infrastructure, particularly Provincial Route 23. It proposes the construction of 7 detention dams that will function as summer laminators and store water for irrigation throughout the rest of the year. Additionally, the creation of 14 water collecting terraces and secondary terraces, along with non-structural measures, is proposed. The study included background collection, planimetric surveying, separation into micro-watersheds, and hydrological/hydraulic study. 28 runoff sub-areas were identified, and a diagnosis of the current situation of the micro-watersheds was conducted. A preliminary project with measures for watershed management was proposed, and a hydrological/hydraulic study was developed for the project situation. The project aims to attenuate the inflow hydrograph of runoff and delay the runoff peak, thus avoiding soil erosion and providing water for irrigation. Agreements with local producers to keep the dams open in summer and closed from April to store irrigation water are highlighted. The project was developed in collaboration with the Federal Investment Council, the Provincial Water Resources Secretariat, and the Provincial Road Directorate, and has generated beneficial agreements for the community and local producers.

KEYWORDS: Lerma Valley, Runoff, Hydrological Management, Detention Dams, Environmental Impact.

INTRODUCCION

El área de estudio se encuentra en el Valle de Lerma, Departamentos de Cerrillos y Rosario de Lerma, provincia de Salta, Argentina. Comprenden alrededor de 5.146 ha.

El Valle de Lerma, es un valle abierto, ubicado a la salida del relieve montañoso, continuación topográfica de la Quebrada del Toro, que se ensancha y desarrolla en amplia llanura aluvial. Presenta una pendiente general del orden del 1 % con sentido NO-SE.

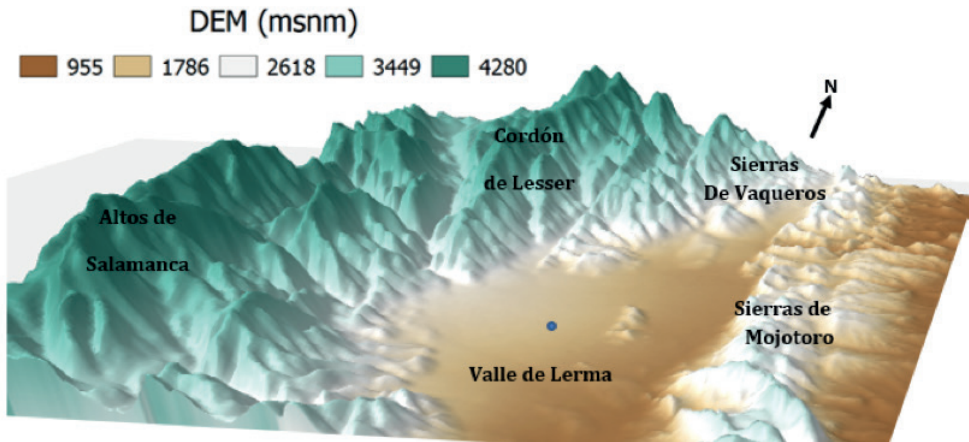


Figura 1. Valle de Lerma. Relieve exagerado. Modelo Digital de elevación. Elaboración propia a partir de datos NASA ASTER DEM (30 m de resolución)

Es un área compleja en donde las actividades productivas conviven con la alta presión de urbanización, sumado que se encuentra disectada por diversos escurrimientos superficiales, en dirección Oeste-Este los cuales tienen incidencia directa sobre la Ruta Provincial (RP)23 y consecuentemente en el Valle de Lerma. Por tratarse de un área densamente poblada, cuenta con una infraestructura vial desarrollada.

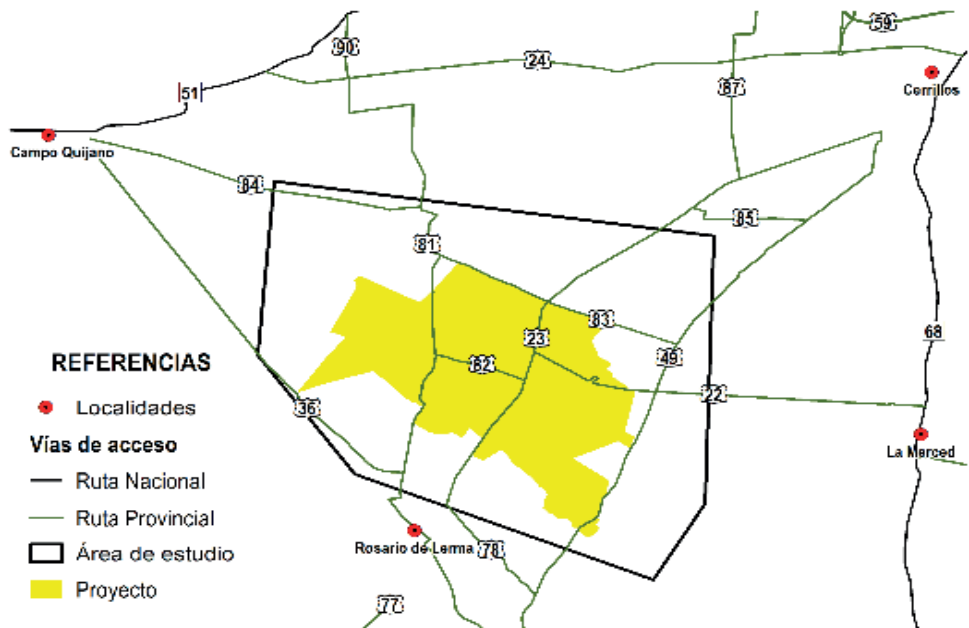


Figura 2. Valle de Lerma. Infraestructura vial.

Se recorrieron todas las obras de drenaje actual de la RP23, que corta en sentido Norte-Sur a la cuenca de estudio. El drenaje de esta obra vial se configura con Alcantarillas y canales en la zona de cunetas. El sentido del escurrimiento de cunetas se divide en dos direcciones, una divisoria de agua a partir de la cual drena en dirección Nor-Este hacia la localidad de Cerrillos, mientras que hacía progresivas mayores la dirección del drenaje de cunetas es en dirección Sur-Oeste.

En el presente Proyecto se propuso trabajar en la ordenación y laminación de los escurrimientos superficiales que afecta el normal funcionamiento de las rutas provinciales y nacionales que permiten recorrer el Valle de Lerma, como la RP23.

Teniendo en cuenta que las represas de detención permiten el almacenamiento temporario del agua pluvial, la cual es liberada a una tasa regulada a través de estructuras de descarga, se propone la disposición de 7 represas, que en verano funcionarán como laminadoras y desde abril en adelante almacenarán agua para riego de cultivos de alto valor de la provincia. Además, se plantea la construcción de 14 terrazas colectoras de agua y terrazas secundarias, como así también la implementación de medidas no estructurales, como rotación de cultivos y cobertura de suelos, entre otras. Las poblaciones vinculadas directamente al proyecto son Rosario de Lerma, Cerrillos y La Merced, aunque por la inserción zonal, tiene incidencia sobre todo el Valle de Lerma.

Participaron 15 técnicos y se trabajó con el Consejo Federal de Inversiones (CFI) en coordinación con la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia y la Dirección Provincial de Vialidad.

OBJETIVO

Trabajar en la ordenación y laminación de los escurrimientos superficiales del área de estudio mediante la implementación de medidas estructurales (terrazas, canales y represas) y medidas no estructurales (medidas de manejo de los cultivos y sistematización de suelos para riego) para lograr atenuar el hidrograma de entrada de las unidades de escurrimiento y atrasar el pico de escurrimiento.

METODOLOGÍA

La metodología y componentes del trabajo se mencionan a continuación:

- Recopilación de Antecedentes
- Aspectos del Medio Físico y Biótico
- Relevamiento Planialtimétrico tomando datos con dron de ala fija de precisión centimétrica y con GPS Geodésico de doble frecuencia RTK 220 canales en modo estático y cinemático.

- Separación en Microcuencas y Subáreas de Escurrimiento: Para poder identificar unidades hidrográficas a escala de microcuencas se descargaron 20 escenas correspondientes al Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la República Argentina (MDE-Ar). A partir del mosaico obtenido, se calcularon los límites de las microcuencas correspondiente al área de estudio. En la Figura 3 se presenta el Modelo Conceptual utilizado para la delimitación de microcuencas del área de estudio.

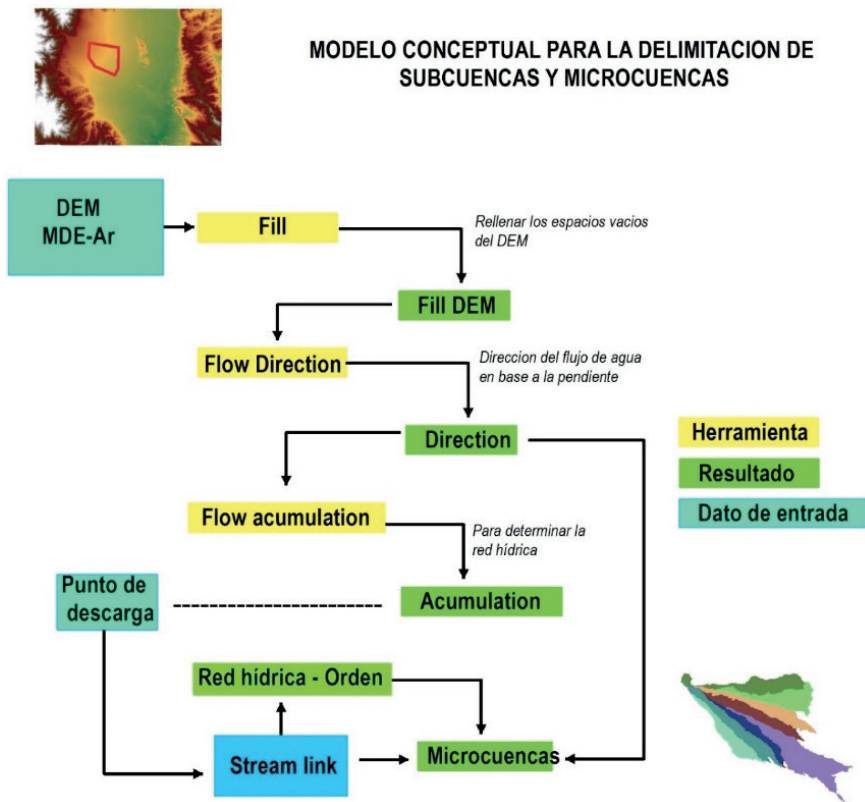


Figura 3. Modelo conceptual

Fuente: Elaboración propia

- Geomorfología de las Microcuencas: A continuación, se presenta la información referida a las geoformas de las microcuencas.

Parámetros de las microcuencas:

- Pendiente media de las microcuencas: Este parámetro influye entre otras cosas en el tiempo de concentración de las aguas en un determinado punto del cauce.

- Pendiente del Cauce principal: La pendiente de los cauces de las microcuencas influye sobre la velocidad de flujo, constituye un parámetro importante en el estudio del comportamiento del recurso hídrico en el tránsito de líneas de escurrimiento
- Altitud: valores de altitud media, máxima y mínima de las microcuencas
- Parámetros morfométricos: Determinación de los Parámetros morfométricos: Superficie (km²), Perímetro (km), Longitud del cauce principal (km), Ancho promedio (km), Forma (Kc) Factor de forma (FF).
- Estudio Hidrológico/Hidráulico para la Situación sin Proyecto.

Para la determinación de las cuencas se utilizó como base el MDE-Ar, considerando diversos puntos de control coincidentes con las obras de drenaje (Alcantarillas) del sector y considerando principalmente el A° San Martín, Chocobar y trama Urbana de La Merced.

A partir de la red de drenaje se definieron las microcuencas que luego se subdividieron en unidades hidrográficas menores de modo tal de considerar el esquema topológico del sistema lo más realista posible.

El modelo hidrológico utilizado para simular el sistema seleccionado fue el HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System). Este programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, permite estimar las hidrografías de salida en una cuenca a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa.

El HEC-HMS se deriva del HEC-1 y conserva la misma filosofía de introducción de datos y secuencia de cálculos. Para definir la estructura de las cuencas, el programa considera elementos como subcuencas, tramos de tránsito, uniones, embalses, fuentes, sumideros y derivaciones.

El programa trabaja con tres módulos básicos:

- Módulo de precipitación: Permite seleccionar un patrón de precipitación del evento de tormenta que se ajuste a las condiciones de la cuenca.
- Módulo de la cuenca: Permite representar el sistema físico con los elementos mencionados y la inclusión de características morfométricas y de condición del suelo.
- Módulo de control: Incluye las fechas de inicio y culminación de los datos de lluvia y caudal para la simulación, y los intervalos de tiempo para realizar los cálculos.
- El modelo se desarrolló definiendo la topología del sistema y se cargaron los datos necesarios para la simulación del evento de 25 años de recurrencia.
- Diagnóstico de la Situación Actual de las Microcuencas
- Anteproyecto. Propuesta de las Medidas para el Manejo de Cuencas
- Estudio Hidrológico/Hidráulico Situación con Proyecto.

El procedimiento para diseñar embalses de amortiguamiento de crecida se basa en cálculos de crecidas de diseño de 5 y 25 años de recurrencia para condiciones de predesarrollo (cuando la cuenca está en su estado natural) y posdesarrollo no controlado (cuando la cuenca ha sido modificada pero no controlada). Luego, se calcula la diferencia de volúmenes escurridos entre estas dos condiciones para la crecida de 5 años, y se utiliza para determinar un valor inicial de la altura del embalse. Se diseña un orificio de salida para que el caudal máximo en posdesarrollo controlado sea similar al de predesarrollo para la crecida de 5 años. Se ajusta este diseño preliminar del orificio y se determina el valor final de la altura del embalse mediante iteraciones, considerando la diferencia relativa de caudales y el tiempo de drenaje mínimo requerido. Finalmente, se calcula un valor preliminar del volumen de almacenamiento requerido para controlar la crecida de 25 años y se determina la altura del embalse correspondiente.

- Estudio de Suelos y Agua Particulares de las Obras a Realizar
- Licitatorios de las Obras Componentes del Proyecto Integral
- Organización del Sistema de Información Geográfica del Proyecto Licitatorio de Manejo de Cuencas

RESULTADOS

A partir de la metodología planteada se obtuvieron los siguientes resultados:

Aspectos del Medio Físico y Biótico

Geología y Geomorfología: El Valle de Lerma, ubicado en la provincia geológica Cordillera Oriental, es una depresión tectónica rellena por sedimentos de ríos descendientes del relieve montañoso. Se destacan tres formaciones geológicas cuaternarias, siendo la Formación Calvimonte la más relevante para el área de estudio, caracterizada por gravas, arenas y fangolitas.

La geomorfología del valle está marcada por relieves positivos resultado de ascensos tectónicos. Predominan las geoformas de acumulación fluvial, especialmente abanicos aluviales de ríos como el Toro-Rosario y Arenales, que transportan una gran carga sólida hacia el valle, formando extensos cuerpos sedimentarios. Estos abanicos, producto de crecientes estivales, configuran la pendiente general hacia el este del valle.

El ingreso de los ríos a la depresión disminuye su capacidad de transporte, depositando la carga sólida y formando materiales gruesos en el ápice del cono aluvial. La granulometría de los depósitos disminuye hacia la pendiente. El cono aluvial del río Arenales presenta una geometría anómala limitada por otros cuerpos sedimentarios y con pendientes cambiantes.

El área de estudio se sitúa en la porción media del cono aluvial del río Toro-Rosario, en su extremo norte, cerca del límite con el cono aluvial del río Arenales.

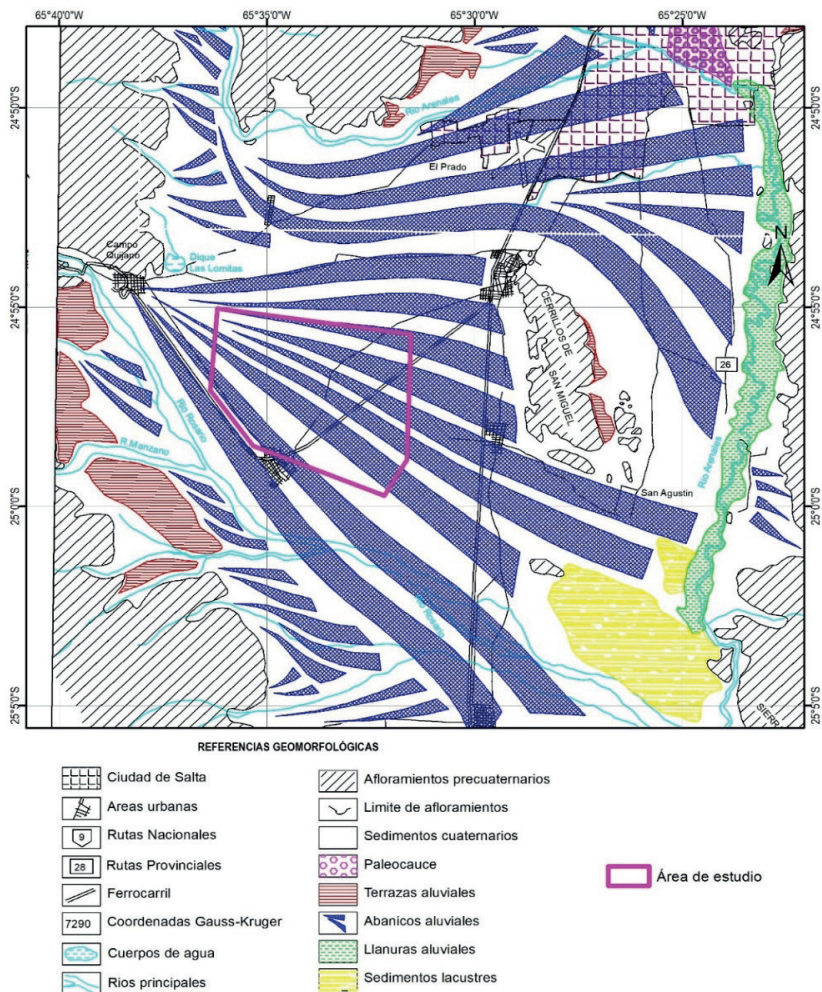


Figura 4. Geomorfología

Fuente: Baudino, 1996.

Suelos: La zona de estudio presenta dos asociaciones de suelos: La Merced y Quijano. La Asociación La Merced se encuentra en áreas montañosas y valles intermontanos, con suelos de perfil incipiente, texturas medianamente gruesas a medias, moderadamente bien drenados, neutros a moderadamente alcalinos, con bajo contenido de materia orgánica y presencia de carbonatos. Son suelos con limitaciones ligeras a moderadas que se corrigen con prácticas culturales sencillas.

La Asociación Quijano, ubicada en el Valle de Lerma, presenta suelos de incipiente desarrollo, texturas gruesas, excesivamente drenados, moderadamente ácidos, con contenido medio de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico media. Estos suelos tienen limitaciones moderadas a algo severas, pero aún son arables.

Ambas asociaciones presentan perfiles característicos con horizontes y características específicas, como pendientes, erosión y pedregosidad.

Caracterización climática: El clima del valle de Lerma se clasifica como Subtropical serrano con estación seca, caracterizado por veranos cálidos, lluvias regulares y concentradas entre noviembre y marzo, e inviernos moderados y secos, con amplitud térmica diaria y anual pronunciada. Las temperaturas medias mensuales varían entre 22.2°C y 20°C en verano, con máximas medias que superan los 28°C, y entre 11.6°C y 13.7°C en invierno.

El balance hidrológico climático de la estación meteorológica de Rosario de Lerma muestra una precipitación media anual de 734 mm, siendo enero el mes más lluvioso y junio y julio los más secos. La distribución de las precipitaciones es irregular a lo largo del año y entre los distintos años, con el 80% de las lluvias concentradas en verano. La evapotranspiración potencial media anual es de 776 mm. El índice de aridez es de 14, lo que indica un clima semiárido, y el índice de humedad es de 8,47, lo que indica condiciones de sequedad. La situación hídrica muestra deficiencias en la mayor parte del año, con excepción de algunos meses con excesos.

Relevamiento Planialtimétrico tomando datos RTK en modo estático y cinemático y GPS Geodésico de doble frecuencia RTK 220 canales.

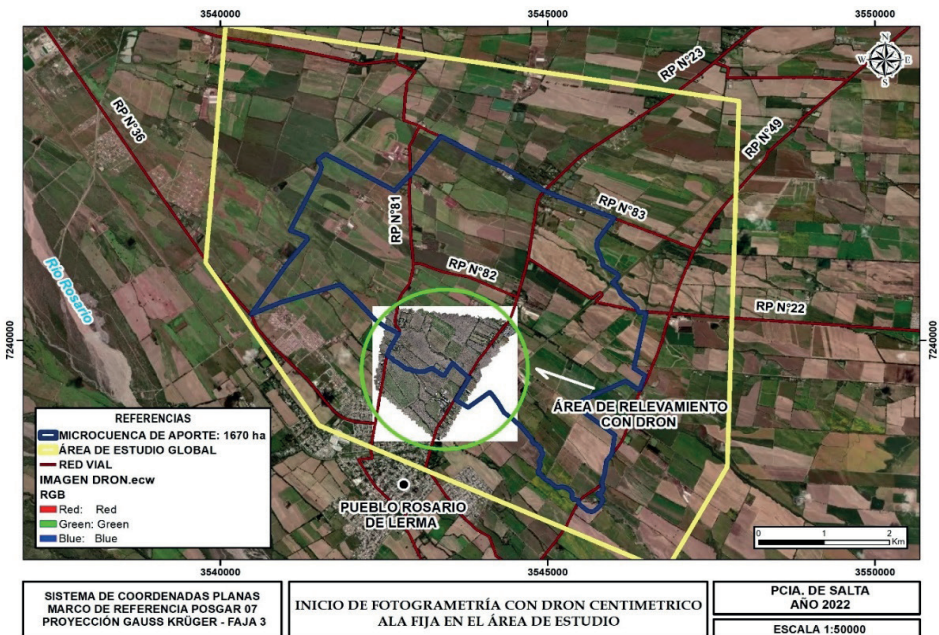


Figura 5. Relevamiento planialtimétrico general del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia

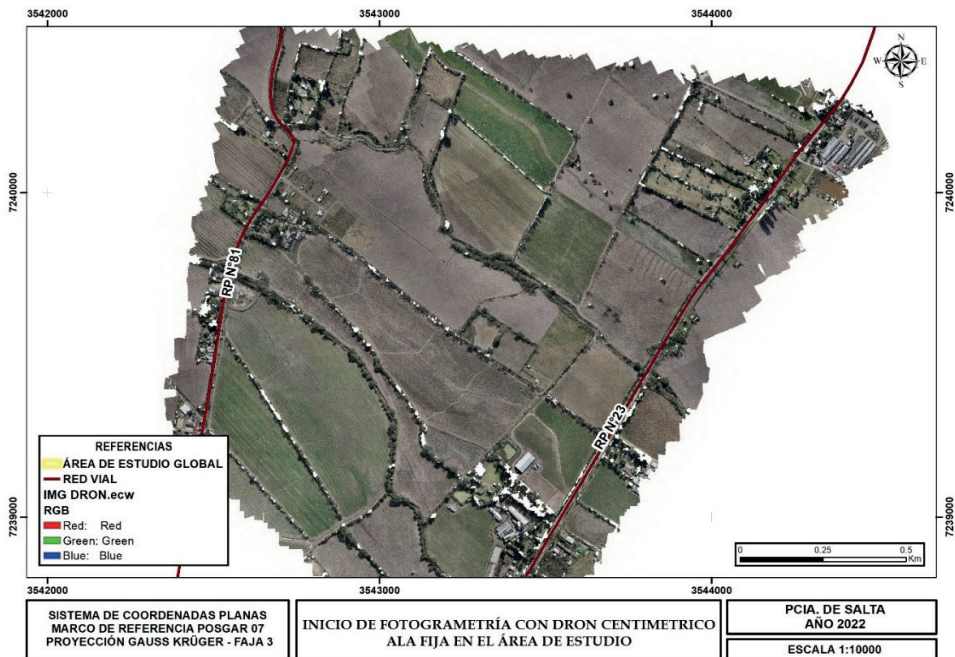


Figura 6. Relevamiento planialtimétrico general del área de estudio.

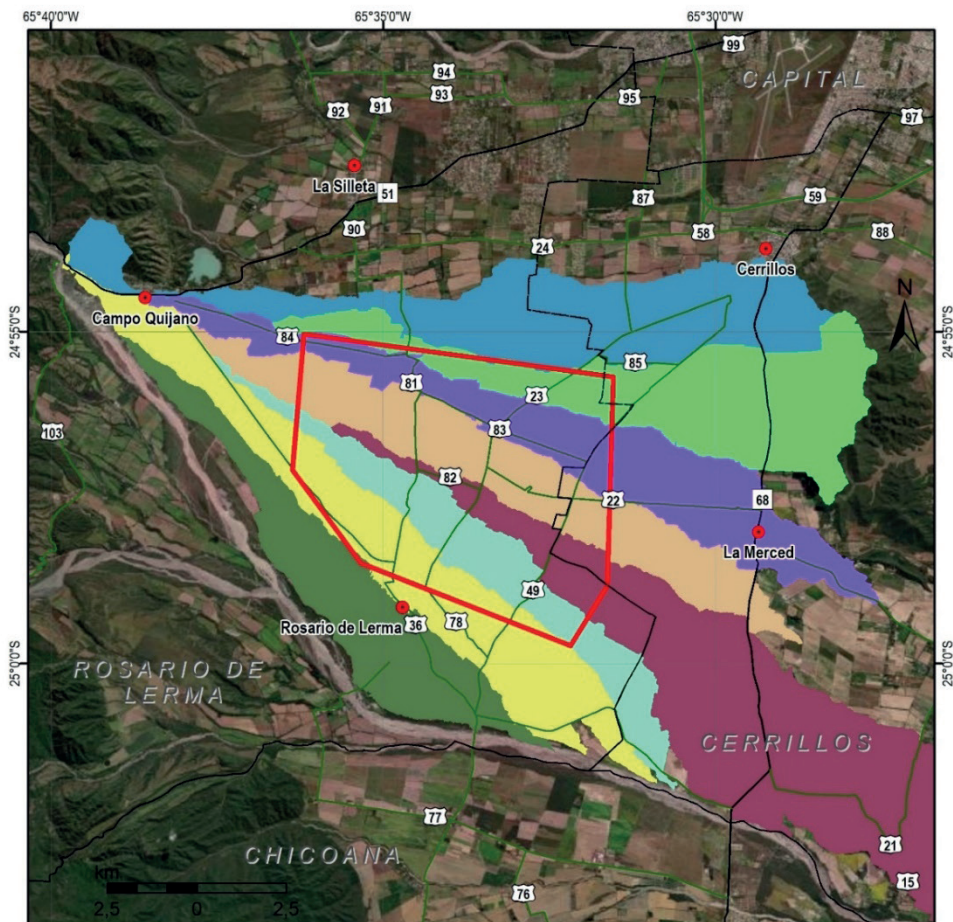
Fuente: Elaboración propia

Separación en Microcuencas y Subáreas de Escurrimiento: En la siguiente tabla y figura se presentan las superficies (ha) de las microcuencas dentro del área de estudio.

Microcuencas	Superficie (ha)	Superficie del Área de estudio (ha)
1	2.914,1	9,5
2	2.655,4	444,0
3	2.463,5	888,8
4	2.341,9	1.375,6
5	1.918,6	7,0
6	2.744,2	826,4
7	1.493,5	979,8
8	5.155,1	615,4

Tabla 1. Superficies de las microcuencas del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia



- REFERENCIAS**
- Localidades
 - Límite departamental
 - ▭ Área de estudio
- Vías de acceso**
- Ruta Nacional
 - Ruta Provincial
- Microcuencas identificadas**
- | | | |
|---|---|---|
| 1 | 4 | 7 |
| 2 | 5 | 8 |
| 3 | 6 | |

Figura 7. Microcuencas
Fuente: Elaboración propia

Geomorfología de las Microcuencas: A continuación, se presenta la información referida a las geoformas de las microcuencas.

En la siguiente tabla se presentan los valores estimados de las pendientes medias de las microcuencas y las Pendientes de los Cauces principales.

Microcuenca	Pendiente media (%)	Subcuenca
1	1	Arias - Arenales
2	0,8	
3	0,9	
4	0,9	
5	0,9	
6	1	
7	1,3	Rosario
8	1,5	
9	1,5	
10	1,4	

Tabla 2. Pendiente media de las microcuencas

Microcuenca	Pendiente media (%)	Subcuenca
1	0,9	Arias - Arenales
2	0,9	
3	1	
4	1	
5	0,9	
6	1,1	
7	1	Rosario
8	1	
9	0,9	
10	0,9	

Tabla 3. Pendiente media del cauce principal de las microcuencas

La siguiente tabla presenta los valores de altitud media, máxima y mínima de las microcuencas

Microcuenca	Altitud Valor Mínimo	Altitud Valor Máximo	Altitud Valor Medio	Subcuenca
1	1.249,20	1.452,84	1.347,65	Arias - Arenales
2	1.228,21	1.356,81	1.264,64	
3	1.228,21	1.458,78	1.325,51	
4	1.112,73	1.455,22	1.260,33	
5	1.121,20	1.426,23	1.259,38	
6	1.121,20	1.308,75	1.200,42	
7	1.132,26	1.491,53	1.272,34	Rosario
8	1.173,32	1.351,95	1.265,48	
9	1.228,30	1.564,17	1.383,10	
10	1.237,94	1.457,24	1.333,97	

Tabla 3. Pendiente media del cauce principal de las microcuencas

Parámetros morfométricos: Se presentan los parámetros calculados y su información de referencia, junto con el Cauce principal y centroide, generados en las microcuencas del área de estudio.

Microcuenca	Superficie (km ²)	Perímetro (km)	Longitud del CP* (km)	Ancho promedio (km)	Kc	Forma (Kc)	FF	Foma (FF)
1	12,1	33,7	16,9	0,7	2,7	<i>Casi rectangular (alargada)</i>	0,0	<i>Muy alargada</i>
2	7,9	18,2	8,4	0,9	1,8	<i>Casi rectangular (alargada)</i>	0,1	<i>Muy alargada</i>
3	14,3	36,4	18,3	0,8	2,7	<i>Casi rectangular (alargada)</i>	0,0	<i>Muy alargada</i>
4	25,6	58,9	30,9	0,8	3,3	<i>Casi rectangular (alargada)</i>	0,0	<i>Muy alargada</i>
5	24,3	52,1	18,8	1,3	3,0	<i>Casi rectangular (alargada)</i>	0,1	<i>Muy alargada</i>
6	21,9	34,8	18,8	1,2	2,1	<i>Casi rectangular (alargada)</i>	0,1	<i>Muy alargada</i>
7	20,7	57,0	30,8	0,7	3,5	<i>Casi rectangular (alargada)</i>	0,0	<i>Muy alargada</i>
8	14,6	31,3	16,0	0,9	2,3	<i>Casi rectangular (alargada)</i>	0,1	<i>Muy alargada</i>
9	20,1	43,2	22,9	0,9	2,7	<i>Casi rectangular (alargada)</i>	0,0	<i>Muy alargada</i>
10	17,4	31,6	16,5	1,1	2,1	<i>Casi rectangular (alargada)</i>	0,1	<i>Muy alargada</i>

*CP: Cauce principal

Tabla 5. Parámetros morfométricos de las microcuencas del área de estudio

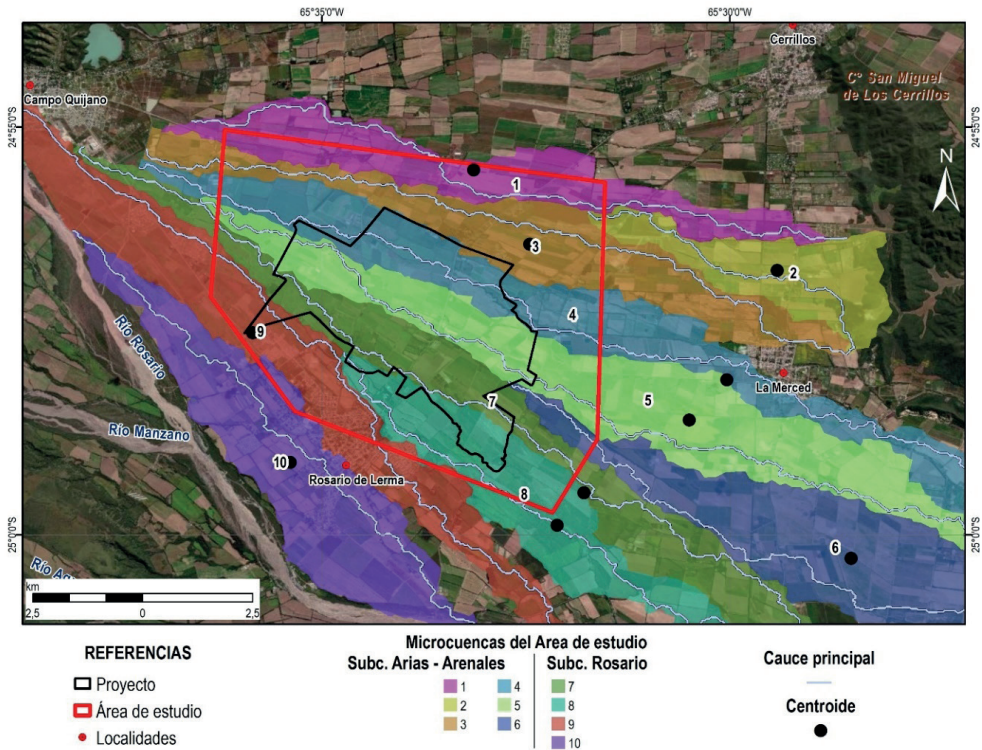


Figura 8. Microcuencas del área de estudio, cauce principal y centroides.

Fuente: Elaboración propia.

Estudio Hidrológico/Hidráulico para la Situación sin Proyecto: Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

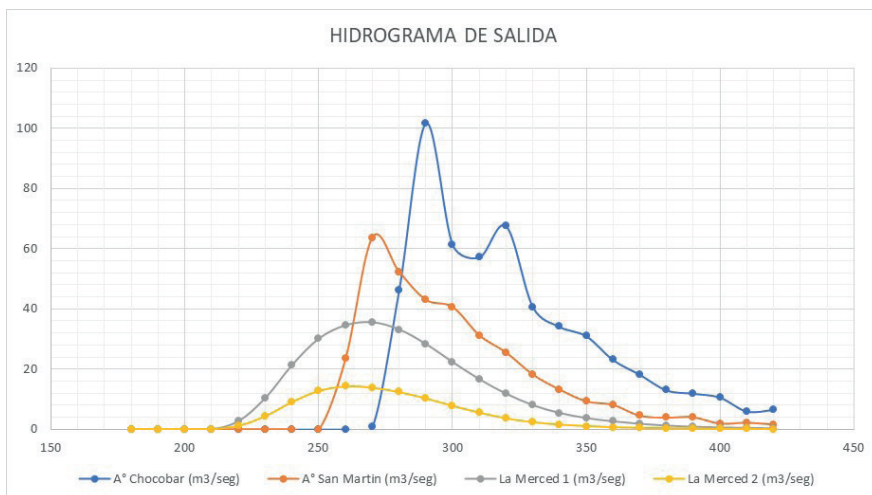


Figura 9. Hidrograma de salida Tr.: 25 – Salidas

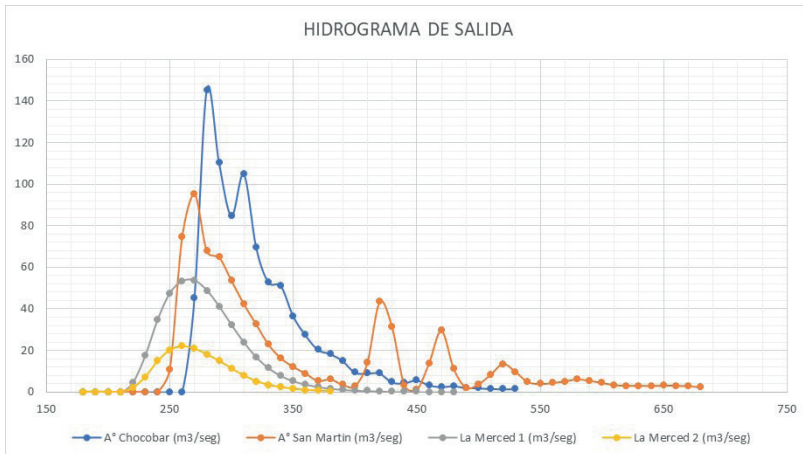


Figura 10. Hidrograma de salida Tr.: 50 – Salidas

Estudio hidrológico /hidráulico. situación con proyecto: En base a la modelación se obtuvieron los parámetros de diseño de las 7 (siete) estructuras de regulación (represas).

En base a la información lograda y al diagnóstico, se estableció la Propuesta de las Medidas para el Manejo de Cuencas se plantea la realización de 7 represas y 14 terrazas colectoras de agua. Lo anterior se complementará con terrazas secundarias, cuya función será que el agua infiltre en el lugar y se genere menos escurrimiento. También se propone una estrategia de doble uso de las represas laminadoras de caudales pico de escurrimiento, primero amortiguando los altos caudales de escurrimiento que, por mal manejo, causan daño y luego almacenando agua que posibilitará incrementar el riego y la producción.

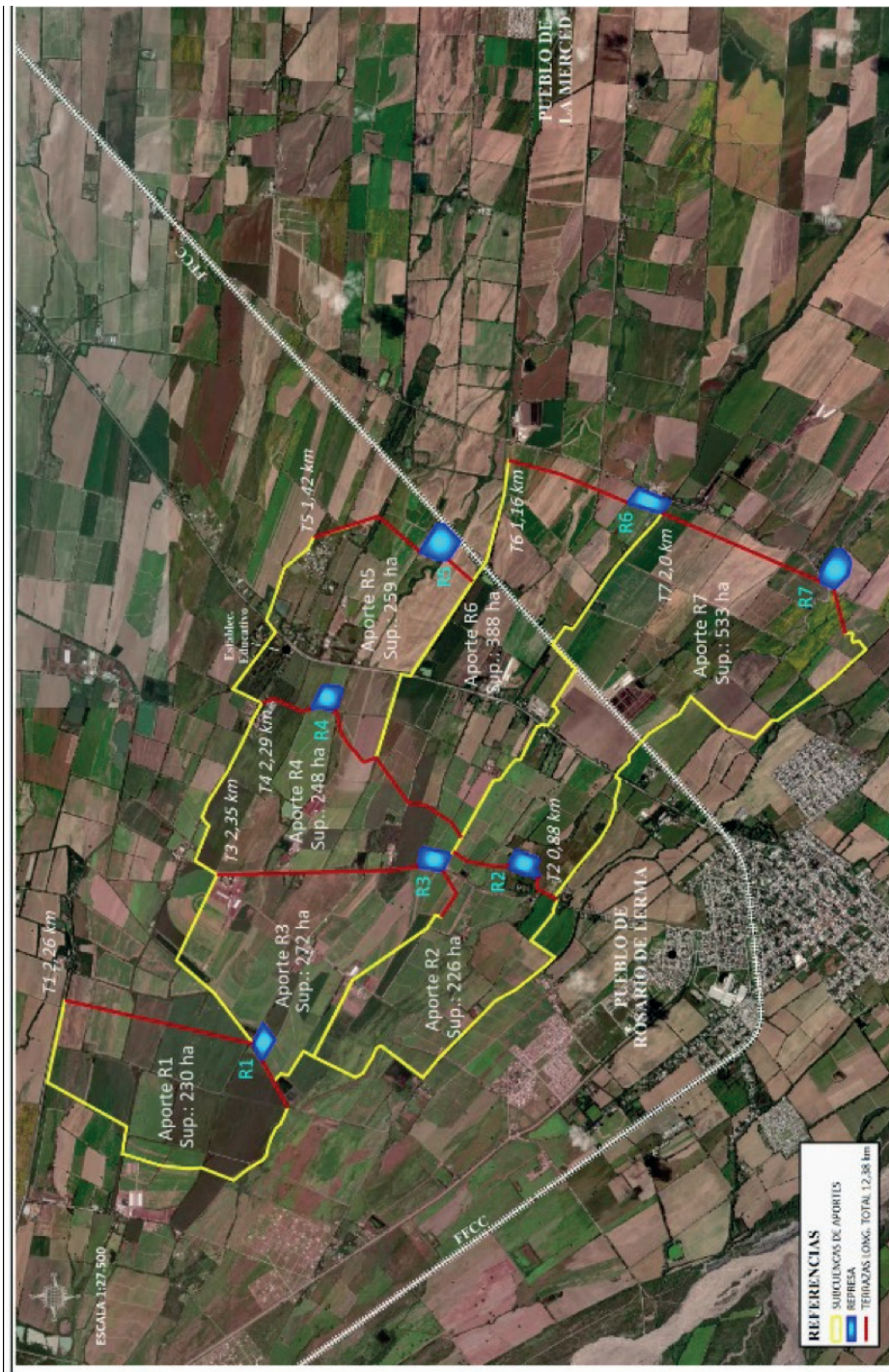


Figura 11. Subcuencas de aporte. Obras estructurales.

Fuente: Elaboración propia

Se caracterizaron los suelos sobre los que se construirán las represas correspondientes al Proyecto de Manejo de Escurrimientos con influencia en la Ruta provincial N° 23, utilizando criterios Geotécnicos.

Se elaboraron los Pliego de Bases y Condiciones para la Contratación de Obras Civiles y se establecieron los Términos de Referencia para la ejecución de los proyectos licitatorios.

Se organizó la información (alfanumérica y georreferenciada), en una Base de Datos asociada a un Sistema de Información Geográfica (SIG).

El Proyecto presentado, propició que la provincia de Salta, a través de la Secretaría de Recursos Hídricos, realice convenios con los productores donde se construyen represas en sus campos, comprometiéndolos a mantener abiertas las represas durante el verano para laminar el escurrimiento y que las cierren desde abril para almacenar agua de riego que utilizarán durante los meses de invierno y primavera.

CONCLUSIONES

- El estudio de vegetación, ambiente y el diagnóstico de la situación actual de las microcuencas permitió concluir que el drenaje general del área de estudio es en dirección Oeste-Este y que se emplaza sobre cono aluvial muy antropizado.
- La dinámica de gran cantidad de cauces menores fue modificada para su incorporación agrícola y urbana haciendo que los caudales se concentren en algunos cursos que, además, deben captar y conducir mayores caudales debido a la modificación del uso de suelo que incrementó los caudales escurridos por la reducción de las pérdidas al escurrimiento y la reducción de los tiempos de concentración.
- Las acciones de cambio de uso de suelo referidas (agrícola y urbano), generaron que la dinámica hídrica se modificara drásticamente.
- El incremento de caudales y las elevadas pendientes les confirieron a estos nuevos cursos un alto poder erosivo, generando zanjones rectos con profundización media y ensanchamiento con formas meándricas en muchos casos, tal como se observa en el A° San Martín y Chocobar.
- Muchas veces no existe continuidad en los cauces aguas debajo de las alcantarillas, lo que genera que el agua se canalice por las cunetas generando concentración de flujo y por consiguiente una erosión de las mismas.
- Para mitigar lo anterior, se realizó este proyecto que contempla la construcción de 7 represas laminadoras de caudales pico de escurrimiento y 14 km de terrazas.
- El estudio de suelos en los lugares de emplazamiento de las futuras represas concluye que son aptos para la construcción de dichas Obras.

- La construcción y puesta en funcionamiento de estas medidas estructurales (represas y terrazas), sumadas a las no estructurales (manejo de cultivos, cobertura de suelos y sistematización de suelos para riego), atenuará el hidrograma de entrada de las unidades de escurrimiento y retrasará el pico de escurrimiento.
- Como consecuencia de lo anterior, se evitará erosión de suelos y se podrá disponer de agua para riego.

REFERENCIAS

Arias, M. Y A. R. Bianchi. 1996. *Estadísticas climatológicas de la Provincia de Salta. Dirección de Medio Ambiente y Recursos Naturales.* Gobierno de la Provincia de Salta – I.N.T.A, E.E.A. Salta. 189 págs.

Bianchi, A. R. (1996). *Temperaturas medias estimadas para la región noroeste de Argentina.* S.A.G.P. y A. de la Nación - INTA, Centro Regional Salta-Jujuy. E.E.A. Salta. 14 págs.

Bianchi, A. R. (1996).. *Las precipitaciones en el Noroeste Argentino.* INTA. Centro Regional Salta-Jujuy. E.E.A. Salta

Cabrera, A. L (1994). *Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería.* Primera reimpression, tomo 2, fascículo 1. Editorial ACME S.A.C.I. Buenos Aires, 85 págs.

Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2023). *Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la República Argentina (MDE-Ar)* [Datos ráster].

Nadir, A. Y T. Chafatinos. (1990). *Los suelos del NOA (Salta y Jujuy), Tomos I y II. Salta, Argentina*

NASA LP DAAC. (2009). *ASTER Global Digital Elevation Model Versión 3* [Datos ráster].

Pontussi, E. P. (1993). *Geografía del noroeste argentino. Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta. Salta,*

U.S. Army Corps of Engineers. (2021). *HEC-HMS (Versión 4.9)* [Software].

EXPLORANDO EL POLICARBONATO: UN ANÁLISIS DE SUS PROPIEDADES Y APLICACIONES EN INGENIERÍA

Fecha de aceptación: 01/07/2024

S. Sanchez-Valdes

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd, Enrique Reyna Herмосillo
140, Saltillo, Coahuila de Zaragoza –
México

J. Lara-Sanchez

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd, Enrique Reyna Herмосillo
140, Saltillo, Coahuila de Zaragoza –
México

J. Torres-González

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd, Enrique Reyna Herмосillo
140, Saltillo, Coahuila de Zaragoza –
México

A.B. Espinoza-Martínez

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd, Enrique Reyna Herмосillo
140, Saltillo, Coahuila de Zaragoza –
México

J.A. Rodriguez-Gonzalez

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd, Enrique Reyna Herмосillo
140, Saltillo, Coahuila de Zaragoza –
México

A. Herrera-Guerrero

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd, Enrique Reyna Herмосillo
140, Saltillo, Coahuila de Zaragoza –
México

K.F. Rodriguez-Ramirez

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd, Enrique Reyna Herмосillo
140, Saltillo, Coahuila de Zaragoza –
México

L. da Silva

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd, Enrique Reyna Herмосillo
140, Saltillo, Coahuila de Zaragoza –
México

RESUMEN: Una forma de clasificar a los plásticos en cuanto a su volumen de producción y desempeño es en tres grandes rubros: Plásticos commodities, polímeros de ingeniería y polímeros de especialidad. Los plásticos commodities o de gran volumen se fabrican en cantidades muy grandes: como el polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y policloruro de vinilo (PVC). Estos son más baratos, pero no presentan buenas propiedades a temperaturas por encima de los 100 °C. Los polímeros de ingeniería se producen en menor volumen, por lo que son más caros, pero presentan muy buenas propiedades a temperaturas elevadas. Se utilizan en aplicaciones más ingenieriles: como en la industria automotriz

y aeroespacial. Entre los polímeros de ingeniería se encuentran los poliésteres (PET, PBT, PCT) policarbonatos (PC), terpolímeros de ABS y sus mezclas, poliacetales (POM), acrílicos (PMMA) y los polióxido de fenileno (PPO), como Noryl, entre otros. Por último, tenemos los polímeros de especialidad; los cuales tienen propiedades únicas y se usan en aplicaciones muy específicas, como en la industria aeroespacial, geotérmica y otras aplicaciones especiales, por lo que, son muy caros y se fabrican a muy bajos volúmenes de producción. Ejemplos de estos son las poliimidaz (PI), las polisulfonas (PSU), polietersulfonas (PES) y polieteretercetonas (PEEK) [1].

EL POLICARBONATO

Dentro de los polímeros de ingeniería, el PC es un polímero muy versátil con buenas propiedades a elevadas temperaturas (arriba de 150 °C), es higroscópico y susceptible al ataque hidrolítico. Es un polímero que se obtiene tradicionalmente mediante la reacción de dos monómeros: el fosgeno y el bisfenol-A (Figura 1) [2]. Se puede apreciar en la Figura 1, la presencia de grupos muy voluminosos y anillos aromáticos que le impiden plegarse con facilidad. Esto le confiere alta transparencia, ya que es un polímero amorfo que no cristaliza fácilmente.

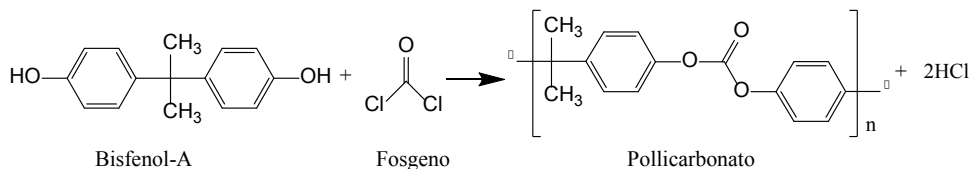


Figura 1. Síntesis del policarbonato.

RIESGOS DEL BISFENOL-A

Es difícil pasar por alto la atención que se presta al Bisfenol A (Figura 1), sabemos que es un fenol sintético que se filtra de botellas y latas a bebidas y alimentos. El BPA se utiliza también en la fabricación de resinas de polisulfona y poliacrilato, y además de encontrarse en botellas, se utiliza en latas, tuberías y empaques de alimentos.



Figura 2. Aplicación de plásticos libres de bisfenol A. Imagen Generada con IA.

Un estudio de la Escuela de Salud Pública de Harvard en donde examinaron la relación entre el uso de botellas de PC y las concentraciones de BPA en humanos logró establecer un vínculo directo entre los niveles de BPA en la orina y el consumo de estas botellas. El estudio no impuso restricciones sobre qué bebidas los estudiantes podían beber de la botella, sin embargo, se indicó a los participantes que solamente bebieran bebidas frías en las botellas de PC [3,4]. El bisfenol A es un disruptor endocrino, es decir, es capaz de alterar el sistema hormonal de los organismos; posee propiedades estrogénicas que pueden impedir la acción adecuada del estradiol.⁵ Además, diversos estudios reportan que el BPA induce carcinogénesis, toxicidad reproductiva, respuesta inflamatoria o inmune anormal y trastornos del desarrollo del cerebro o del sistema nervioso a través de diversas vías de señalización celular [4-7]. Por esto se ha limitado el uso del PC en envases y para contacto con alimentos como es el caso de envases rígidos para bebidas energéticas y en biberones, en donde se debe incluir la leyenda de estar libres de bisfenol A (BPA free).

HISTORIA DEL PC

El policarbonato se convirtió en un polímero de ingeniería debido a los descubrimientos técnicos que se desarrollaron en la década de 1950. En 1953, los estudios realizados por Schnell en Bayer (Alemania) llevaron al descubrimiento del policarbonato, material que fue registrado bajo el nombre comercial de Makrolon®, nombre comercial del PC que Bayer que mantiene hoy en día. A la vez, D. Fox en General Electric, buscaba esmaltes de alambre de poliéster mejorados y encontró el mismo compuesto. En los dos trabajos se utilizó el diol bisfenol-A como base para sus estudios sobre policarbonatos. Desde entonces, el polímero de policarbonato tuvo un gran crecimiento comercial debido a su amplia gama de propiedades como transparencia, resistencia frente a impactos y una alta temperatura de transición vítrea, lo que le confiere un rango de aplicaciones muy variado [8,9].

PROPIEDADES

La gran importancia del policarbonato radica en sus buenas propiedades de procesamiento, ópticas, mecánicas y térmicas. Una característica muy apreciada del PC es su alta transparencia ya que al ser amorfo y no cristalizar permite el paso de casi el 100% de la luz visible, pero esta propiedad solo la mantiene el PC virgen, ya que al reciclarse se forman fenoles que le imparten un cierto color amarillento reduciendo su transparencia, por lo que es necesario cuidar su reciclado o historia térmica [10].

El PC es muy resistente al impacto, es aislante eléctrico, auto extinguido e inerte. Una vez que reblandece, para hacerlo fluir en inyección o extrusión a elevadas temperaturas (mayor a 250 °C) presenta muy alta viscosidad y puede actuar como limpiador o purga dentro del barril de procesamiento. Además, presenta muy alta temperatura de transición vítrea (T_g de 150 °C) lo que lo hace muy rígido a temperatura ambiente [11]. Sin embargo, el PC también cuenta con desventajas, entre las que se encuentra una alta viscosidad en estado fundido, resistencia limitada a los disolventes, a la intemperie e hidrólisis. También el PC tiene la desventaja que se raya muy fácilmente a diferencia del PMMA y aunque ambos son altamente transparentes, el PC presenta mucho mayor resistencia al impacto (ver Tabla 1) comparado con el PMMA, es por esto por lo que se prefiere usar PMMA en micas o faros transparentes para autos en la parte trasera ya que se rayan poco, mientras que el PC se prefiere usar en la parte frontal del auto para evitar que se fracture si es impactado por una piedra emitida por el vehículo delantero.

		PC	Acrílico (de alta resistencia)	Acrílico estándar
Resistencia al impacto (KJ/m ²)	Muesca (ft lb/in ²)	16	1.2	0.4
	Dardo en caída	125	8	1

Tabla 1. Propiedades de resistencia al impacto para el PC y el PMMA

El PC es susceptible al ESCR (environmental stresscracking resistance) o resistencia al ataque de bases fuertes, hidrocarburos halogenados y cetonas. No es resistente a compuestos alcalinos por lo que hay que tener cuidado con limpiadores alcalinos como el maestro limpio (Mr. Clean ®).

Para su procesamiento, el policarbonato requiere temperaturas de fundido mayores a 250°C ya que es muy amorfo y requiere alta temperatura para hacerlo fluir, presenta muy alta T_g (150 °C) por lo que a temperatura ambiente es muy rígido y al tener muy alta difusividad térmica permite ciclos de inyección rápidos ya que se puede sacar el calor en el molde más rápido. Al ser un material higroscópico requiere secarse antes de procesarse para evitar su hidrólisis a 230 °C con aire seco con un punto de rocío (dew point) de al menos -20 °C. La hidrólisis del PC puede ocasionar defectos visibles en la pieza, así como reducción en su peso molecular, propiedades físico-mecánicas y defectos superficiales

como ráfagas brillantes (silver marks), huecos y otros defectos. Dadas las propiedades mencionadas anteriormente; el policarbonato es muy común, tanto en los hogares como en la industria.

APLICACIONES

Debido al amplio rango de propiedades que posee este polímero de ingeniería, cuenta con múltiples aplicaciones en diversas ramas, a continuación, se mencionan las principales:

Para el ramo alimenticio, como se mencionó anteriormente, existen garrafones, botellas, tupperware, biberones y empaques para alimentos de PC. En cuestiones Ópticas, las principales aplicaciones incluyen lentes oftálmicos y pantallas. Revestimientos protectores en automóviles, como faros y cristales. Biomédico, como microagujas y distintos equipos médicos como nebulizadores. En Arquitectura se encuentra en el material de construcción, condensador eléctrico y material dieléctrico. La industria automotriz hace uso del policarbonato en las pantallas, ventanas a prueba de balas y partes plásticas [10,12,13].

Además, el PC se puede formular con Aditivos UV si la aplicación se va a exponer para uso exterior. También, se puede reforzar con cargas y fibras para mejorar sus propiedades mecánicas y estabilidad dimensional. La resistencia térmica se puede aumentar con retardantes de flama para aplicaciones especiales [14].

CONCLUSIONES

El policarbonato se destaca por su excepcional resistencia al impacto, alta temperatura de transición vítrea, ductilidad y transparencia óptica. Su alta resistencia térmica lo hace ideal para condiciones climáticas adversas. Con una transparencia que alcanza hasta el 90%, proporciona un óptimo aislamiento sin comprometer la entrada de luz natural. En consecuencia, el Policarbonato ha sido ampliamente estudiado y utilizado, aunque la inversión inicial puede ser mayor que con otros materiales, la durabilidad a largo plazo del PC lo convierte en una opción económicamente más rentable que el plástico tradicional.

REFERENCIAS

1. Coreño-Alonso, J., Méndez-Bautista, M.T., Relación estructura-propiedades de polímeros. *Educación Química*, 21(4) (2010) 291–299. doi:10.1016/S0187-893X(18)30098-3
2. Tamura, M., Ito, K., Honda, M. *et al.*, Direct Copolymerization of CO₂ and Diols. *Sci Rep* 6, 24038 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep24038>

3. Carwile J.L., Luu H.T., Bassett L.S., Driscoll D.A., Yuan C., Chang J.Y., Ye X., Calafat A.M., Michels K.B., Polycarbonate bottle use and urinary bisphenol A concentrations. *Environ Health Perspect.* 2009 Sep;117(9):1368-72. doi: 10.1289/ehp.0900604.
4. Jalal, N., Surendranath, A. R., Pathak, J. L., Yu, S., Chung, C. Y. Bisphenol A (BPA) the mighty and the mutagenic. *Toxicology Reports* vol. 5 76–84 <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.12.013> (2018).
5. Klenke, U., Constantin, S., Wray, S., BPA directly decreases GnRH neuronal activity via noncanonical pathway. *Endocrinology* 157, 1980–1990 (2016). <http://doi.org/10.1210/en.2015-1924>
6. Murata, M., Kang, J. H., Bisphenol A (BPA) and cell signaling pathways. *Biotechnology Advances*, 36 (2018) 311–327. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.12.002>
7. Deba, S., Núñez, P., Efectos del Bisfenol A en la reproducción masculina: estudios en modelos animales. *Medicina Reproductiva y Embriología Clínica* 5, 55–60 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.medre.2018.03.003>.
8. Brunelle, D. J., Smigelski, P. M., Boden, E. P., Evolution of Polycarbonate Process Technologies. in 8–21 (2005). <https://doi.org/10.1021/bk-2005-0898.ch002>.
9. Clagett, D. C., Shafer, S. J., Polycarbonate Resins. *Polymer Engineering & Science*, 25(8), 458-461, 1985. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3456-3>
10. Kausar, A. A review of filled and pristine polycarbonate blends and their applications. *Journal of Plastic Film and Sheeting* vol. 34 60–97 Preprint at <https://doi.org/10.1177/8756087917691088> (2018).
11. Singh, A. Polycarbonate Synthesis. in *Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials* (ed. Kobayashi Shiro and Müllen, K.) 1793–1796 (Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2015). doi:10.1007/978-3-642-29648-2_419.
12. Trautmann, A., Heuck, F., Muelle, C., Ruther, P., Replication of microneedle arrays using vacuum casting and hot embossing. The 13th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, 2005. Digest of Technical Papers. *Transducers 2* (2005) 1420 – 1423. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:37775188>
13. Schmauder, T., Nauenburg, K.-D., Kruse, K., Ickes, G., Hard coatings by plasma CVD on polycarbonate for automotive and optical applications, *Thin Solid Films*, 502, 1–2, (2006) 270-274. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2005.07.296>.
14. Mallakpour, S., Hussain, C. M., Handbook of Consumer Nanoproducts. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-6453-6>

NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS PARA APLICACIONES EN EMPAQUES DE ALIMENTOS: UNA REVISIÓN

Fecha de aceptación: 01/07/2024

S. Sánchez-Valdés

Centro de Investigación en Química Aplicada
Coahuila de Zaragoza, México

A. Rodríguez-González

Centro de Investigación en Química Aplicada
Coahuila de Zaragoza, México

J. Torres-González

Centro de Investigación en Química Aplicada
Coahuila de Zaragoza, México

A.D. García-Montenegro

Centro de Investigación en Química Aplicada
Coahuila de Zaragoza, México

C. Gómez-Rodríguez

Centro de Investigación en Química Aplicada
Coahuila de Zaragoza, México

I.L. González-Maldonado

Centro de Investigación en Química Aplicada
Coahuila de Zaragoza, México

P. A. Espinoza-Martinez

Centro de Investigación en Química Aplicada
Coahuila de Zaragoza, México

A.B. Espinoza-Martinez

Centro de Investigación en Química Aplicada
Coahuila de Zaragoza, México

A. Herrera-Guerrero

Centro de Investigación en Química Aplicada
Coahuila de Zaragoza, México

L. Da Silva

Centro de Investigación en Química Aplicada
Coahuila de Zaragoza, México

RESUMEN: El aumento sistemático del consumo de alimentos en el mundo ha repercutido en la cantidad de envases utilizados en la industria alimentaria. La mayor parte de los materiales que se emplean para el empaque de alimentos no suelen ser biodegradables. Por lo que, esta situación representa un riesgo para el medio ambiente, dado que el número de residuos aumenta considerablemente, los cuales tienen la característica principal de no degradarse en tiempos cortos. Con el objetivo de abordar esta problemática y desarrollar materiales “verdes”, se han investigado distintos biopolímeros, sin

embargo, debido al bajo desempeño de sus propiedades mecánicas y de barrera, no han podido ser utilizados para reemplazar a los materiales tradicionales plásticos. El uso de nanopartículas favorece interacciones con la matriz polimérica debido a las dimensiones del reforzamiento. Por lo que surgen así los nanocompuestos poliméricos (PNCs) para su aplicación como biomateriales. Los PNCs pueden llegar a ofrecer las funcionalidades deseadas y cumplir con las propiedades objetivo para su aplicación en empaques de alimentos. En esta revisión se exploran las mejoras en propiedades físicas, estudiando su actividad microbiana (¿anti o micro?), biodegradabilidad, su potencial como biosensores, su desempeño como barrera para gases y sus interacciones con diferentes matrices poliméricas.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la competencia en los mercados globales y en la variedad de productos, aunado con las exigencias de los consumidores en diversas áreas como en la industria de los alimentos, ha propiciado a las compañías a investigar nuevos métodos para mejorar la eficiencia y capacidad de la manufactura de empaques con el uso de materiales sostenibles. Los recientes avances en la nanotecnología como los nanomateriales, ofrecen nuevas oportunidades a las industrias alimentarias para promover la mejora continua en sus esquemas de proceso, empaque y manufactura. Por lo que los materiales de empaque están cambiando constantemente, debido al desarrollo de nuevos productos, tecnología y procesos. Entre los materiales utilizados se encuentran el vidrio, el papel, el cartón, la hojalata, el aluminio y los plásticos.

Los plásticos son ampliamente utilizados en la fabricación de empaques, ya que presentan algunas características requeridas como: la transparencia, el buen desempeño de propiedades mecánicas y la estabilidad térmica. Algunos de los plásticos más empleados en la elaboración de empaques son: el tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y poliamida (PA). Sin embargo, al no ser totalmente reciclables ni biodegradables, impactan negativamente al medio ambiente y en algunos casos, los costos de su manufactura son elevados. (Referencia de esta parte no estaban)

En las últimas dos décadas, ha surgido un creciente interés en el desarrollo de polímeros a partir de materiales biodegradables, con el objetivo de reducir la producción de materiales sintéticos no degradables, los cuales representan un gran porcentaje de los desechos generados a nivel mundial. Así mismo, se busca añadir propiedades activas a los sistemas de envasado de alimentos como propiedades antimicrobianas y de barrera de humedad, entre otros [1].

Los biopolímeros o bioplásticos difieren de los plásticos sintéticos debido a que están compuestos de materiales orgánicos y su degradación se produce por microorganismos bajo condiciones adecuadas de temperatura, humedad y de disponibilidad de oxígeno, lo cual evita la producción de toxinas dañinas para el ambiente [1]. Estos se pueden clasificar

según su fuente o aplicación en biobasados y biodegradables. Los materiales biobasados tienen su origen en fuentes naturales y también a través de reacciones de polimerización. Por otra parte, los plásticos biodegradables tienen la capacidad de degradarse a través de la exposición a condiciones ambientales específicas de presión, temperatura, oxígeno y radiación UV, lo que provoca un rompimiento de cadenas poliméricas hasta reducir su peso molecular en un rango de 3000-5000 g/mol, pero ¿por qué en ese rango de peso molecular? Resulta que, en el rango de peso molecular mencionado los microorganismos pueden asimilar los restos de los microplásticos lo que facilita su descomposición y reducción en compuestos más simples. Adicionalmente, ambos tipos de biopolímeros pueden ser modificados por medio de la nanotecnología, lo que abre nuevas posibilidades de optimizar los procesos de manufactura, ya que la combinación de nanopartículas con matrices poliméricas mejora las propiedades objetivo del material, permitiendo desarrollar envases más eficientes y sostenibles, para mejorar no sólo las propiedades del material, sino también la relación costo-beneficio [2].

NANOMATERIALES Y NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS

Los nanomateriales pueden ser de origen natural o sintético y pueden presentarse en forma de partículas sueltas o formar un agregado. Presentan una o más dimensiones con tamaños comprendidos entre 1 y 100 nm, dichas estructuras presentan una alta proporción de superficie-volumen [3]. Esta característica los hace ideales para diversas aplicaciones que involucran materiales compuestos, reacciones químicas, liberación controlada de sustancias en tecnologías de envase activo, entre otras.

Los nanomateriales se clasifican en tres tipos dependiendo de las dimensiones nanométricas [4]:

- De dos dimensiones (nanofibras y nanotubos de carbono), para conferir propiedades físicas como la resistencia y rigidez para los empaques en distintas industrias.
- Nanocapas delgadas, proporcionan mayor rendimiento en las propiedades de barrera. El recubrimiento puede ser alrededor de 50 nm de espesor, considerado entonces como nanomaterial de una dimensión.
- De tres dimensiones, como las nanopartículas que tienen gran potencial para liberar o capturar productos químicos, como las usadas para la recolección de residuos en la eliminación de oxígeno o de productos químicos.

Otra clasificación para los nanomateriales se basa en las normas ISO TS 27687:2008 e ISO TS 80004:2011, las cuales tienen como objetivo mitigar la ambigüedad de los conceptos de la nanotecnología.

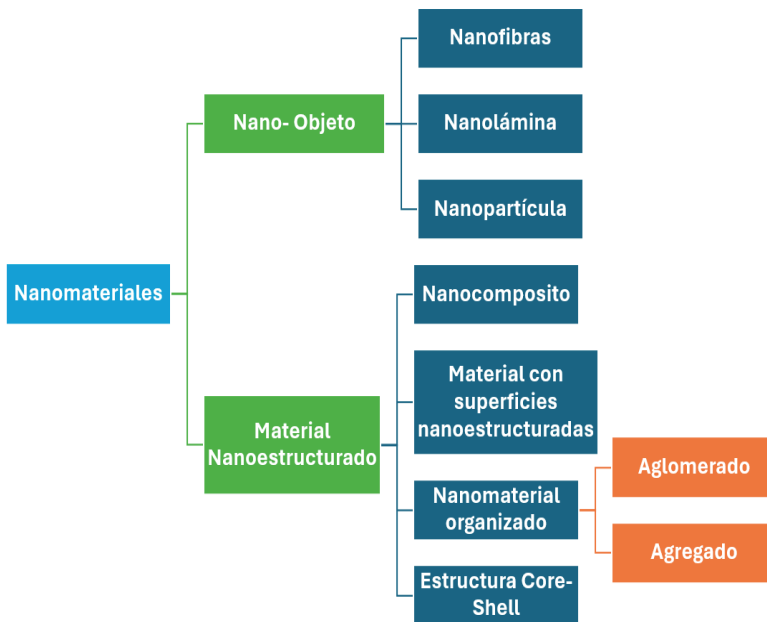


Figura 1. Clasificación de nanomateriales para la obtención de nanocompuestos . Basado en [5].

La incorporación de nanomateriales ha dado origen a nuevas y mejores propiedades en los polímeros como la capacidad antiolor, retardante de flama, protección UV, resistencia al agua, antirayado y propiedades de barrera. Existen diferentes métodos para la elaboración de nanocompuestos, los cuales tienen como objetivo integrar adecuadamente las nanopartículas en la matriz polimérica.

A continuación, se presentan los principales métodos utilizados para la elaboración de nanocompuestos [6]:

- Incorporación de las nanopartículas dentro de una matriz polimérica mediante mezclado mecánico o mezclado en fundido.
- Adición de las nanopartículas dentro de una matriz polimérica por medio de mezclado en solución.
- Polimerización in—situ de las nanopartículas en la matriz polimérica.

Los nanocompuestos poliméricos consisten en la combinación de una matriz polimérica y la incorporación de cargas con dimensiones nanométricas. Donde la adición de nanopartículas con una alta relación de aspecto, son de particular importancia debido a su alta superficie específica que proporciona una mejora significativa en el desempeño del nanocompuesto [4].

La selección de las cargas utilizadas para la elaboración de nanocompuestos, está basada principalmente en la morfología y estructura nanométrica. Existen diversos

factores que modifican las propiedades del nanocompuesto de acuerdo con su aplicación, algunos de ellos son: el tipo de polímero, la cantidad añadida, la dispersión de la carga y la condición de adición. La dispersión es uno de los factores de mayor importancia, dado que una dispersión uniforme de las nanopartículas genera un área interfacial matriz-refuerzo muy grande, esto ocasiona un cambio en la movilidad molecular y la relajación de la molécula. Por lo general, esto resulta en el incremento de la resistencia mecánica, estabilidad térmica, resistencia química, apariencia superficial, conductividad eléctrica, transparencia y permeabilidad a gases.

INVENCION E INNOVACION DE NUEVOS MATERIALES

El desarrollo de nuevos materiales poliméricos en diversas áreas de aplicación representa un desafío continuo. El diseño de nuevos materiales está basado en las propiedades intrínsecas de los materiales para determinadas aplicaciones, sin embargo, también se ha comenzado a considerar al usuario en el proceso creativo de un producto, considerando el simbolismo, la morfología, el concepto y la manufactura del material [7].

Los nuevos materiales pueden surgir por invención (desarrollo desde cero) o por innovación (mejoramiento de un material existente), los principales métodos para el desarrollo de nuevos materiales se pueden resumir en:

- La síntesis de nuevos polímeros/biopolímeros: Deben de incluir un nivel de madurez tecnológica que contenga estudios de factibilidad, desarrollo, demostración y pruebas de sistemas operativos.
- La incorporación de aditivos: comprende agentes espumantes, retardantes a la flama y pigmentos/colorantes que ayudan a mejorar propiedades.
- La adición de cargas: Cuyo objetivo además de mejorar propiedades, busca reducir costos y propiciar la degradabilidad después de su vida útil.

MEZCLAS POLIMERICAS Y COMPATIBILIZACION DE NANOCOMPUESTOS

Las mezclas poliméricas son nuevos materiales resultantes de la combinación de dos o más polímeros o copolímeros, lo que da lugar a propiedades sinérgicas que provienen de cada componente. Este método resulta interesante ya que es fácil y rentable para el desarrollo de nuevos materiales, además, se pueden manipular las propiedades del material final para aplicaciones específicas [8]. En general, en las mezclas de dos o más polímeros estructuralmente diferentes, se pueden esperar interacciones dipolares, fuerzas de Van der Waals o enlaces de hidrógeno, sin embargo, no todos los polímeros tienen la capacidad de mezclarse de manera eficaz y sencilla [9]. Este tipo de mezclas o la adición de cargas puede ser un tema realmente complicado, debido a la entropía del mezclado derivado de la segunda ley de la termodinámica. La cual establece que cuando las cosas cambian, lo hacen de un estado ordenado a uno desordenado, por lo que lograr que las

cosas cambien en un sentido desordenado es muy complicado [10]. Desde el punto de vista termodinámico, las mezclas poliméricas se clasifican en mezclas miscibles, parcialmente miscibles o inmiscibles, ya que dependen del valor de la energía libre de Gibbs, que explica la espontaneidad de mezclado.

En la actualidad, las mezclas poliméricas inmiscibles han generado un creciente interés debido al fenómeno de compatibilización, que permite la unión con puntos de anclaje entre las interfaces de los polímeros. Este fenómeno interfacial involucra una frontera de contacto entre los materiales y una zona de transición difusa, mismas que aplican con la adición de nanomateriales. Se puede decir que mientras sea mayor la compatibilización en los nanocompuestos, mayor será el incremento de las propiedades finales del material.

En general, para lograr un buen procesamiento, compatibilización y morfología de un nanocompuesto, es crucial considerar varios factores durante el diseño y desarrollo de una mezcla o la incorporación de nanomateriales en un polímero, como las propiedades intrínsecas de cada componente, las proporciones, sus estados de agregación y viscosidades, por mencionar algunos. Considerar estos factores durante el diseño y desarrollo de un nanocompuesto puede ayudar a optimizar sus propiedades y aplicaciones finales.

NANOCOMPUESTOS EN APLICACIONES EN EMPAQUES DE ALIMENTOS

El empaque de alimentos tiene por objetivo asegurar la protección y preservación de la calidad de los productos, desde su producción hasta llegar al consumidor, por lo tanto, el diseño de un empaque debe considerar no solo al consumidor, sino también facilitar el transporte, la manipulación y conservación del producto [11], además, debe de contar con propiedades específicas para presentar un buen desempeño ante las condiciones de uso y aplicación. Actualmente, la nanotecnología ha desempeñado un papel importante en el desarrollo e innovación de nuevos nanomateriales utilizados para la manufactura de empaques de alimentos, ofreciendo nuevas oportunidades para mejorar las propiedades específicas de aplicación, así como optimizar el proceso de fabricación de empaques o películas para alimentos [5].

Los nanocompuestos tienen la particularidad de que, al poder manipular su composición, se pueden evitar cambios en la densidad o fluidez de la película, así como para no afectar otras propiedades importantes como la transparencia, otorgarles propiedades antimicrobianas, antioxidantes, y capacidad de absorción de O_2 y vapor de agua.

Los nanocompuestos utilizados en el empaque de alimentos se pueden clasificar en distintas categorías de acuerdo con sus propiedades y funciones [5]:

- **Mejorados:** Las nanopartículas presentes en la matriz polimérica mejoran las propiedades de flexibilidad, efecto barrera y estabilidad temperatura/mezcla.

- **Activos:** Las nanopartículas permiten la interacción con el alimento y el medio, dando lugar a una mejor preservación, su función principal es cambiar la naturaleza, composición o atmósfera que rodea al alimento.
- **Inteligentes:** Utilizan nanodispositivos para monitorizar las condiciones del alimento y del ambiente del empaque.
- **Biocidas:** Buscan mantener las condiciones higiénicas de la superficie del alimento, reduciendo y previniendo el crecimiento microbiano, estos no deben de tener un efecto negativo en el alimento.

En la actualidad se han desarrollado dos métodos para la elaboración de nanomateriales poliméricos empleados en la manufactura de empaques o películas en la industria alimentaria. Uno de ellos consiste en la fabricación de materiales poliméricos en nanoescala, mientras que el otro implica la introducción de partículas nanométricas en una matriz polimérica [5].

Para el segundo método, la partícula nanométrica proporciona al nanocompuesto propiedades como flexibilidad, permeabilidad, estabilidad térmica y reforzamiento de la matriz siempre y cuando la cantidad de carga sea baja (alrededor del 5%). Esto se debe a que este porcentaje no solo suele presentar pocos cambios en la densidad o transparencia de la película, si no también, mejorar las propiedades de superficie y de reciclado.

Por otra parte, es bien sabido que, durante los últimos años la producción y aplicación de los materiales plásticos han aumentado de manera significativa, generando una creciente demanda mundial. Así mismo, el incremento en la manufactura de polímeros ha dado lugar a una inmensa cantidad de desechos postindustriales y postconsumo, lo cual ha impactado de manera negativa al medio ambiente. Este problema se agrava debido a la falta de interés en la adecuada disposición y selección de los mismos, sin dejar de lado que se requieren cientos de años para que ciertos materiales logren descomponerse por completo bajo condiciones ambientales naturales [12]. Por ejemplo, el uso de plásticos de un solo uso ha contribuido significativamente a esta problemática ambiental. Para abordar esta problemática, se ha buscado a través del uso de la nanotecnología y las mezclas poliméricas, desarrollar materiales amigables con el medio ambiente, que cuenten con propiedades de biodegradabilidad, sin afectar el desempeño del resto de las propiedades requeridas para su aplicación [13].

La biodegradabilidad es una propiedad proveniente de una subclasificación de los materiales plásticos conocidos como biodegradables y biobasados. Se define como la capacidad de un material polimérico para degradarse con la exposición a condiciones ambientales una vez concluido su tiempo de vida. Este concepto es altamente aplicable a los empaques de alimentos debido a su corto tiempo de vida en contacto con alimentos. En seguida, se enlistan algunos polímeros biodegradables más utilizados en la industria del empaque de alimentos:

- **Poliésteres:** Son extraídos de la biomasa, se fabrican por síntesis clásica y se degradan por acción de microorganismos y bacterias.
- **Copolímeros alifáticos-aromáticos:** Son blandos y flexibles, con alta resistencia térmica, el monómero alifático propensa la degradación química mediante hidrólisis. Si la degradación es completa, tarda 8 semanas, si es incompleta, puede tardar hasta 50 años.
- **Copolímeros alifáticos de polilactida (CPLA):** Son fáciles de obtener y térmicamente estables, generan menores emisiones de dióxido de carbono y no producen sustancias tóxicas, su degradación se completa en 12 meses.
- **Policaprolactona (PCL):** Es totalmente biodegradable, resistente al agua y solventes, es fácil de procesar, aunque no se emplea solo en alimentos, se usa mezclado con almidón en la industria alimentaria.
- **Ácido poliláctico (PLA):** Es un polímero prometedor, versátil, reciclable, compostable, de alta transparencia, buena procesabilidad y resistencia a disolventes.

Como se mencionó anteriormente, con la creciente preocupación por el impacto perjudicial de los plásticos sobre el medio ambiente y el largo tiempo que toman en degradarse, ha aumentado interés en el desarrollo de polímeros que se degraden en tiempo cortos, sobre todo aquellos de un solo uso como empaques alimentos. Por lo que se ha estudiado la incorporación de diferentes nanopartículas en la fabricación de nanocompuestos con propiedades de biodegradabilidad mejoradas, entre las cuales destacan, la nanoarcillas, nanofibras de celulosa, nanotubos de carbono, nanopartículas de carbonato de calcio (CaCO_3) y sulfuro de zinc (ZnS).

NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS BASADOS EN ARCILLAS

Las arcillas son refuerzos conocidos por mejorar el desempeño de los polímeros, son altamente atractivos debido a su alta abundancia, incremento en estabilidad térmica, resistencia al fuego, e incrementan las propiedades mecánicas, físicas, de intercalación, así como su afinidad a moléculas orgánicas debido a su nanoestructura intrínseca. Son fáciles de procesar y su alta abundancia y propiedades no tóxicas hacen posible que el escalamiento de este compuesto resulte económicamente viable y amigable con el medio ambiente. [5,14]

Se emplean tres principales refuerzos a base de arcilla en nanocompuestos poliméricos:

- **Arcilla de Montmorillonita:** Es una arcilla estratificada que consiste en láminas de alúmina-silicato hidratada, consiste en una lámina octaédrica de hidróxido de aluminio compartida en el borde entre dos capas tetraédricas de sílice, lo cual facilita su inclusión en la matriz polimérica. (Weiss, et al., 2006) [14]

- Arcilla Laponita: Es un silicato laminar que presenta una relación de aspecto mayor que la montmorillonita.
- Bionanocompuestos: Estos compuestos están formados por un polímero biodegradable con un nanomaterial. Requieren menos combustible para su producción y son amigables con el medio ambiente. Tienen la capacidad de proteger el alimento, prolongando su tiempo de vida.

Las arcillas han sido estudiadas para su uso como nanocargas en empaque de alimentos para combatir el impacto negativo de los plásticos en el medio ambiente, mostrando resultados positivos. Estudios han revelado que el uso de montmorillonita es dominante en el empaque de alimentos, sin embargo, presenta el inconveniente de que su superficie hidrófila dificulta una dispersión homogénea en polímeros orgánicos, esto puede ser solucionado sustituyendo los cationes inorgánicos a partir de iones cuaternarios de sales de amonio o añadiendo agentes compatibilizantes. Además, se ha estudiado el impacto ambiental de los nanocompuestos a base de almidón funcionalizados con silicatos en capas y montmorillonita, los cuales presentan buena intercalación y un límite bajo de migración [15]. También, se han realizado pruebas de citotoxicidad en arcillas modificadas con silanos, mismos que han demostrado que los modificadores de arcilla como el 3-aminopropyltriethoxysilane presentan citotoxicidad, mientras que la modificación con vinyltrimethoxysilane no muestra efectos tóxicos [16].

La incorporación de nanoarcillas en matrices poliméricas, han presentado un buen desempeño en la barrera a los gases, fomentando la separación de H_2 y CO_2 mediante estructuras bidimensionales. Kim et al. lograron producir recubrimientos flexibles semi-transparentes con barreras a gases autoensambladas a base de nanocompuestos de montmorillonita/polivinilpirrolidona (PVP), que eficientemente impiden la permeación de H_2 [17,18].

Varias empresas han desarrollado nanocompuestos basados en matrices poliméricas de nylon adicionando montmorillonita, comercializándolos como Durethan RKU2-2601 (Nanocor™). Estos nanocompuestos tienen aplicaciones en el envasado de bebidas alcohólicas saborizadas o en botellas de PET con multicapas de nanocompuestos para cerveza y bebidas carbonatadas [19]. Entre los estudios realizados se encuentra la incorporación de nanoarcillas a una matriz de poliamida 6 para envasar lomos vacunos al vacío, los autores reportaron un incremento en las propiedades de empaque y en las propiedades de barrera ante el O_2 y la luz UV [20]. Además, se realizaron pruebas de nanocompuestos antifúngicos de montmorillonita con extractos de residuos de piel de granada por intercalación simple y se comprobó su efectividad in vitro e in vivo ante el hongo *Botrytis cinerea* [21].

Por otra parte, el crecimiento bacteriano y la acción enzimática son las principales causas del deterioro de las carnes frescas, lo que promueve la emisión de amonio y otros compuestos volátiles que alteran el pH del ambiente dentro del empaque. Este principio, se

aprovecha para el diseño de empaques inteligentes. Se conoce como empaque inteligente a todo aquel sistema de empaque de alimentos que es capaz de monitorear la calidad de los alimentos mediante indicadores colorimétricos que proporcionan información visual directa al consumidor sobre la frescura y la calidad de los alimentos envasados a través del monitoreo de los cambios en el pH del producto. Por lo ello, se ha investigado el impacto de películas a base de mezclas poliméricas de PVA/almidón de amilosa (HAS) reforzadas con montmorillonita y activadas con antocianinas. Los resultados demostraron que la adición de montmorillonita incrementó la estabilidad térmica, resistencia al agua, parámetros de color y redujo la permeabilidad de vapor. Además, se encontró que la película presenta actividad antimicrobiana, antioxidante y una respuesta significativa al cambio de pH [22].

NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS BASADOS EN NANOTUBOS DE CARBONO (CNT'S)

Los nanotubos de carbono multicapa (MWCNT's) presentan un alto módulo elástico y fuerza tensil. Son utilizados en gran manera por su efecto antimicrobiano, lo que los hace excelentes candidatos para su aplicación en empaques de alimento. Sin embargo, tienden a migrar hacia agentes orgánicos presentes en la comida y llegan a acumularse en órganos de manera que pueden interrumpir procesos metabólicos, similar al efecto de punción en órganos que presentan los asbestos. [23]

Se ha reportado la incorporación de nanotubos de carbono en matrices poliméricas de poli(3-hidroxi butirato)-co-(3-hidroxi valerato) (PHVB), un material 100% biodegradable, los cuales presentaron una mejora en las propiedades mecánicas, eléctricas y de barrera, así como un aumento en la cristalización del PHVB, debido al efecto nucleante de los CNT's sobre la matriz polimérica.

Otros estudios, han demostrado que la incorporación de PHBV-g-MWCNT's en una matriz polimérica de PHBV, promovió la disminución absorción de agua y permeabilidad al vapor de agua, además, presentaron una mayor ventana de procesamiento de fusión [24]. Otros trabajos, han reportado un incremento en la elongación a la ruptura, la fuerza tensil, y una disminución en la velocidad de degradación térmica en mezclas de ácido poliláctico (PLA)/polietilenglicol (POM)/CNT's [25].

NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS BASADOS EN NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANO

La quitina, es el segundo biopolímero natural más abundante junto con la celulosa, sus fuentes principales son los exoesqueletos de crustáceos, alas de insectos, paredes celulares de hongos y algas, entre otros. Sin embargo, la producción industrial de este biomaterial se basa en el tratamiento de conchas de diversos tipos de crustáceos como: camarones, langostas, cangrejos y krill.

El quitosano es un derivado de la quitina que se obtiene a partir de la desacetilación de la quitina, este método consiste en la eliminación de grupos acetilo, generalmente a través de tratamientos con hidróxidos a altas temperatura y la formación de grupos amino. El quitosano es un nanomaterial biodegradable y biocompatible, que se ha estudiado en aplicaciones para la industria del empaque.

Diversos estudios han revelado que la adición del quitosano en materiales de empaque y películas, mejora significativamente sus propiedades mecánicas y de barrera. Los estudios realizados a películas elaboradas a base de nanopartículas de quitosano, demostraron que existe una prolongación en el tiempo de vida útil de los alimentos, gracias a la mejora de las propiedades ópticas del nanocompuesto, como el brillo, color y resistencia a la luz UV, así como la barrera al vapor de agua, además, presentó un incremento en la elongación, la resistencia a la tracción y de ruptura [26].

NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS BASADOS EN CARBONATO DE CALCIO (CaCO₃)

El carbonato de calcio tiene diversas aplicaciones debido a su bajo costo, gran disponibilidad, sencibilidad en pH, lo que lo hace un candidato para su uso en la elaboración de compuestos poliméricos con aplicaciones en la industria alimentaria. Las nanopartículas de carbonato de calcio han generado un gran interés para el desarrollo de nanocompuestos, buscando mejorar propiedades específicas, requeridas en los materiales para empaques y películas. A partir de ello, se han reportado la elaboración de nanocompuestos con la incorporación de nanopartículas de CaCO₃. Avella et al. [15], reportaron la elaboración de nanocompuestos de iPP/CaCO₃ empleando un promotor de adhesión interfacial, ya que, siendo el polipropileno isotáctico (iPP) uno de los plásticos más utilizados la industria del empaque, los autores buscaron mejorar el desempeño del iPP, donde se mostró un incremento en la propiedad de barrera a los gases del iPP.

Por otro lado, el PET presenta buenas propiedades de transparencia y barreras a gas, sin embargo, carece de características de barrera para el almacenamiento de productos sensibles al oxígeno, por lo que se ha explorado el desarrollo de compuestos especializado que no alteren el bajo costo de producción.

A partir de nanocompuestos a base de arcilla, se han logrado obtener las propiedades de barrera deseadas, sin embargo, el efecto nucleante que estos promueven, resultan en un deterioro de las propiedades ópticas del material [15]. Posteriormente se exploró el uso de nanocompuestos de PET/carbonato de calcio, donde se sugiere que las interacciones débiles entre PET y CaCO₃ ocasionan una aglomeración de las partículas, llevando a defectos estructurales que ocasionan el incremento del volumen libre y, por ende, mejoran la permeación de gases. Además, la buena dispersión de partículas, promueve una reducción en la permeabilidad a gases en la matriz polimérica [16].

VENTAJAS DEL USO DE NANOCOMPUESTOS EN EMPAQUES DE ALIMENTOS

Actualmente existen una gran variedad de materiales utilizados en la industria de empaques de alimentos, como el papel, vidrio, aluminio, acero y plásticos. Si bien, los plásticos presentan características esenciales para la industria de empaques de alimentos, sin embargo, se requiere un largo tiempo antes de que comiencen a degradarse, lo que conlleva a la generación y acumulación de toneladas de desechos plásticos, que contribuyen en gran manera a la contaminación de suelos y mares. Por lo que el surgimiento de los nanocompuestos como alternativa al uso de los plásticos convencionales (“comodities”) en aplicaciones para la industria alimentaria, ha presentado importantes ventajas, entre las cuales destacan:

- Innovación: Refiriéndose al desarrollo de nuevos materiales con propiedades mejoradas.
- Mejor protección y conservación de los alimentos: Debido a que los nanomateriales incorporados mejoran las propiedades mecánicas, térmicas y de barrera del polímero puro.
- Mejora de comportamiento de biomateriales: Promueven la biodegradación en los polímeros que suelen degradarse en periodos largos de tiempo.

CONCLUSIÓN

Los nanocompuestos poliméricos desempeñan un papel importante en la industria alimentaria, ya que han ofrecido soluciones eficaces y sostenibles en la elaboración de empaques. Además, la incorporación de la nanotecnología, ha abierto un nuevo panorama para optimizar los procesos de manufactura de productos en la industria alimentaria, mejorando la capacidad de los métodos tradicionales para la elaboración de empaques, envasado y películas para alimentos.

La adición de diversas nanopartículas para la elaboración de los nanocompuestos, ha permitido un rápido desarrollo e innovación de nuevos nanomateriales con propiedades mejoradas que pueden ofrecer soluciones rápidas a los problemas generados al medio ambiente, como consecuencia de la falta de interés en la correcta disposición de los desechos plásticos de un solo uso. Además, el mejor desempeño de los nanocompuestos, ha permitido mejorar la protección y conservación de los alimentos, contribuyendo a la sostenibilidad y reducción de costos para la manufactura de productos utilizados en alimentos.

REFERENCIAS

1. C. Cáceres, M.J. Caracheo, (2017). Bioempaques: El Futuro de la Industria Alimentaria. Facultad de Ciencias Biológicas. Biotecnología. Universidad Autónoma de Puebla. México, 1-17.
2. . Melisa, J. Vega, A. Campos. (2011). Uso de Nanomateriales en Polímeros para la obtención de bioempaques en aplicaciones alimentarias. Revista de la Sociedad Química del Perú, 77, 4, 292-306.
3. R. Vizuete, I. López, A. Delgado Ramos, G. Sánchez (2020). Bioempaques para la industria alimentaria a partir de nanocompuestos y polímeros naturales. Alimentos Ciencia E Ingeniería, 27(2), 34–55.
4. F. Díaz, (2012). INTRODUCCIÓN A LOS NANOMATERIALES. recuperado de: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/Introduccion%20a%20los%20nanomateriales.pdf en 15/03/2024.
5. I. Ruiz. (2016). Nanotecnología en el embalaje de alimentos. Universidad del País Vasco. Tema 6, 2-56
6. J. Zavala (2008). Preparación de nanocompuestos magnéticos. Tesis de Especialización. Centro de Investigacion en Quimica Aplicada, 3-6.
7. A. Wechsler, Y. Briones, P. Dominguez, (2023). Nuevos recursos metodológicos para el desarrollo de materiales desde y para el diseño. Centros de estudios en diseño y comunicación, 73. <https://doi.org/10.18682/cdc.vi203.9755>
8. A.R. Ajitha, T. Sabu, Chapter 1 - Introduction: Polymer blends, thermodynamics, miscibility, phase separation, and compatibilization, Editor(s): Ajitha A.R., Sabu Thomas, Compatibilization of Polymer Blends, Elsevier, 2020, 1-29, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816006-0.00001-3>.
9. S. Thomas, Y. Grohens, and P. Jyotishkumar, Characterization of Polymer Blends: Miscibility, Morphology, and Interfaces, First Edition. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2015, 1-5
10. M.M. Coleman, J.F. Graf, P. Painter, et al. (1991). Specific Interactions and the Miscibility of Polymer Blends, Technomic, 20.
11. G.A. Ojeda, A.M. Arias Gorman, S.C. Sgroppo, (2019). La nanotecnología y su aplicación en alimentos. Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias Y Nanotecnología, 12(23), 1-14. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2019.23.67747>
12. D. Conchubhair, D. Fitzhenry, A. Lusher, A. King, T. van Emmerik, L. Lebreton, C. Ricaurte-Villota, L. Espinosa, E. O'Rourke, Joint effort among research infrastructures to quantify the impact of plastic debris in the ocean, Environmental Research Letters, 14: 065001-065001, 2019.
13. J.C. Posada, E. Montes-Florez, (2021). Revisión: materiales poliméricos biodegradables y su aplicación en diferentes sectores industriales. Informador Técnico, 86(1), 94–110. <https://doi.org/10.23850/22565035.3417>
14. J. Weiss, P. Takhistov, D.J. McClements, (2006), Functional Materials in Food Nanotechnology. Journal of Food Science, 71: R107-R116. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00195.x>

15. M. Avella, R. Avolio, E. Di Pace, M.E. Errico, G. Gentile, M.G. Volpe (2013). Polymer-Based Nanocomposites for Food Packaging Applications. In *Bio-Nanotechnology* (eds F. Shahidi, D. Bagchi, M. Bagchi, H. Moriyama and F. Shahidi). 212–226. doi:10.1002/9781118451915.ch11
16. K. Zeng, B. Yongping, (2005). Improve the Barrier Property of PET Film with Montmorillonite by in situ Interlayer Polymerization. *Materials Letters - MATER LETT.* 59. 3348-3351. 10.1016/j.matlet.2005.05.070.
17. S. Maisanaba, R. Guzmán-Guillén, M. Puerto, D. Gutiérrez-Praena, N. Ortuño, Jos Á. (2018). In vitro toxicity evaluation of new silane-modified clays and the migration extract from a derived polymer-clay nanocomposite intended to food packaging applications. *J Hazard Mater.* doi: 10.1016/j.jhazmat.2017.08.003. Epub 2017 Aug 2. PMID: 28800565.
18. J. Hyungjoon, C. Yunkyu, C. Wooyoung, C. Eunji, K. Minsu, K.J. Yeon, K. Ohchan, J. Yunseong, W. Dae, K. Woo (2023). Selective gas permeation through polymer-hybridized graphene oxide nanoribbon nanochannels: Towards enhanced H₂/CO₂ selectivity, *Journal of Membrane Science*, Volume 683. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2023.121856>.
19. K. Hanim, C. Wooyoung, E.S. Choi, K. Nomura, K. Jong-Won, J.C. Ellison, K. D. Woo (2024). Tailored self-assembly of semi-transparent polymer/clay nanocomposites for gas-barrier applications assisted by aqueous liquid crystalline scaffolds, *Progress in Organic Coatings*, Volume 186. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2023.108003>.
20. P.A., Picouet, (2014). Influence of PA6 nanocomposites films on the stability of vacuum- aged beef loins during storage in modified atmosphere. *Meat Science*, Vol. 96, pp.574-580.
21. C. Ba, S. Park, S. Lim, S. Choi (2015). Improving flavonoid bioaccessibility using an edible oil-based lipid nanoparticle for oral delivery. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, Vol. 63, pp. 5266-5272.
22. R.M. Sharaby, E.A. Soliman, R. Khalil. (2024) Halochromic smart packaging film based on montmorillonite/polyvinyl alcohol-high amylose starch nanocomposite for monitoring chicken meat freshness, *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 258, Part 2.
23. I. Rezić, (2017). Food Packaging: Metal nanoparticles and carbon nanotubes-perfect antimicrobial nano-fillers in polymer-based food packaging materials., 497–532. doi:10.1016/B978-0-12-804302-8.00015-7
24. Y. Hou-Yong, Q. Zong-Yi, S. Bin, Y. Xiao-Gang, Y. Ju-Ming (2014). Reinforcement of transparent poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) by incorporation of functionalized carbon nanotubes as a novel bionanocomposite for food packaging, *Composites Science and Technology*, Volume 94. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2014.01.018>.
25. K. Attari, P. Molla-Abbasi, B. Rashidzadeh (2024). Fabrication of a packaging film based on PLA blends: The evolution of physical, mechanical, and rheological properties. *Polym Eng Sci.* 64(3): 1258-1273. doi:10.1002/pen.26612
26. I. Leceta, M. Peñalba, P. Arana, P. Guerrero, K. de la Caba (2015). Ageing of chitosan films: Effect of storage time on structure and optical, barrier and mechanical properties. *European Polymer Journal*, vol. 66, 170–179

NANOCOMPÓSITOS CON PROPIEDADES DE RETARDANCIA A LA FLAMA PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Fecha de aceptación: 01/07/2024

S. Sanchez-Valdés

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd
Coahuila de Zaragoza – México

A.E. Olvera-Ramos

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd
Coahuila de Zaragoza – México

D. Izquierdo-Duarte

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd
Coahuila de Zaragoza – México

B.N. Rosales-Guzmán

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd
Coahuila de Zaragoza – México

O. Vargas-Franco

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd
Coahuila de Zaragoza – México

A.B. Espinoza-Martínez

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd
Coahuila de Zaragoza – México

A. Herrera-Guerrero

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd
Coahuila de Zaragoza – México

J. Torres-González

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd
Coahuila de Zaragoza – México

O.C. Reyna

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd
Coahuila de Zaragoza – México

L. Da Silva

Centro de Investigación en Química
Aplicada Blvd
Coahuila de Zaragoza – México

RESUMEN: Con el tiempo se han estudiado sistemas de aditivos para agregar como retardantes de llama a polímeros, debido a que estos suelen presentar pobres propiedades térmicas, siendo muy susceptibles a degradarse en presencia de fuego, generando gases tóxicos. Esto provoca que sea difícil aplicarlos en industrias donde es de suma importancia evitar problemas por la combustión de materiales. Debido a esto se agregan dichos compuestos, los cuales se han estudiado. Hoy en día, los nanomateriales de distintos tipos (nanoarcillas, nanoalótropos de carbono, nanotubos, etc.) se han investigado como sistemas muy eficientes

para generar nanocompósitos poliméricos con sistemas retardantes, sobre todo para lograr introducir materiales ligeros poliméricos en la industria automotriz.

PALABRAS CLAVE: Retardantes de flama, nanocompósitos, arcillas, nanotubos, industria automotriz.

INTRODUCCIÓN

El uso de polímeros ha crecido de manera significativa y se ha expandido a todo tipo de industrias debido a sus excelentes propiedades mecánicas y químicas, bajos costos y facilidad de producción en masa de materiales con diversas propiedades requeridas. En estos años, no solo los polímeros sintéticos, sino también los polímeros de origen natural han ganado importancia y se han estudiado para reemplazar a los polímeros comerciales y reducir el impacto ambiental. Entre sus propiedades destacadas, se encuentra que los polímeros suelen presentar alta flamabilidad debido a su estructura orgánica. Además, algunos polímeros pueden liberar sustancias tóxicas o corrosivas durante la combustión [1, 2]. Esto ha limitado sus aplicaciones en industrias con riesgos de flamabilidad, como la eléctrica, aeroespacial y automotriz [3]. Recientes avances en polímeros retardantes de llama han demostrado mejoras significativas en la seguridad y sostenibilidad. Innovaciones en nanotecnología han permitido el desarrollo de compuestos que no solo resisten mejor al fuego, sino que también reducen la emisión de sustancias nocivas durante la combustión. Estos materiales avanzados están abriendo nuevas posibilidades para aplicaciones en ciertas industrias, como la automotriz y aeroespacial, donde la resistencia al fuego es crítica [1].

En el presente capítulo, se aborda la temática de los nanocompósitos con propiedades retardantes de llama, enfatizando su relevancia para incrementar la seguridad en la manufactura automotriz. Se analizan los mecanismos de acción, incluyendo la intumescencia, que confiere una barrera protectora ante la exposición al calor. Se discuten las ventajas medioambientales y de seguridad, tales como la mitigación en la liberación de gases tóxicos, y se confrontan los desafíos inherentes a la homogeneización de nanomateriales en matrices poliméricas. Se presentan estudios de caso que evidencian la efectividad de estos nanocompósitos en aplicaciones vehiculares. Adicionalmente, se revisan las normativas vigentes que regulan el uso de estos materiales y se especula acerca de futuras investigaciones para el desarrollo de compuestos más seguros y sostenibles para la industria automotriz.

La combustión de polímeros es un proceso basado en la interacción física y química de un compuesto cuando existen tres factores importantes que inician la combustión: calor, oxígeno y un combustible. Estos tres factores deben coexistir para mantener la combustión. El proceso comienza con la degradación térmica del polímero por una fuente externa de calor, lo que lleva al corte de las cadenas poliméricas a través de la pirolisis.

Esto genera especies volátiles que, al exponerse al ambiente, provocan una mezcla de gases inflamables que sirven como combustible para encender más material sólido. La combustión puede iniciarse a altas temperaturas o, en presencia de un agente inductor de llama como una chispa, incluso a bajas temperaturas, generando un fuego auto sostenido que se mantiene por la oxidación térmica del material polimérico y el oxígeno ambiental. Este proceso continúa hasta que una fuente externa lo detiene, se agota el oxígeno, lo cual es prácticamente imposible en la atmósfera terrestre, o se consume por completo el combustible, es decir, el polímero y los materiales inflamables cercanos. Durante la combustión de algunos polímeros, se produce la interacción de radicales reactivos de hidrógeno y de hidróxido, cruciales para el proceso y la propagación de la combustión [1, 2]. La Figura 1 muestra un esquema de la combustión.



Figura 1. Esquema del proceso de combustión en polímeros [1].

La combustión de polímeros es un proceso multifásico que involucra una serie de reacciones químicas y físicas. Los tres elementos esenciales para la combustión son [1]:

- **Calor:** Una fuente de calor externa, como una llama, un rayo o un cortocircuito eléctrico, es necesaria para iniciar la degradación térmica del polímero.
- **Oxígeno:** El oxígeno del aire es el agente oxidante que reacciona con el polímero liberando energía en forma de calor.
- **Combustible:** El polímero en sí mismo es el combustible que se quema en la reacción de combustión.

ETAPAS DE LA COMBUSTIÓN DE POLÍMEROS [4]

Degradación térmica: La exposición del polímero a una fuente de calor externa provoca la ruptura de las cadenas moleculares, liberando gases inflamables y sustancias volátiles. Este proceso, conocido como pirolisis, es el punto de partida para la combustión.

Ignición: Los gases inflamables generados en la etapa anterior se mezclan con el oxígeno del aire, creando una mezcla combustible. Si la temperatura es lo suficientemente alta o si hay un agente inductor de llama (como una chispa), esta mezcla se encenderá, iniciando la combustión.

- **Combustión:** La oxidación térmica del polímero y del oxígeno libera energía en forma de calor, lo que a su vez eleva la temperatura del material circundante. Esta reacción exotérmica genera más gases inflamables, perpetuando el ciclo de combustión.
- **Propagación:** El calor desprendido durante la combustión calienta el material adyacente, provocando su degradación térmica y la liberación de más gases inflamables. Este proceso de propagación permite que el fuego se expanda a través del material polimérico.
- **Extinción:** La combustión continúa hasta que se elimina uno de los tres elementos esenciales: el calor, el oxígeno o el combustible. En la práctica, la extinción se logra mediante la acción de agentes extintores que sofocan el fuego o lo aíslan del oxígeno.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMBUSTIÓN DE POLÍMEROS [1, 4]

Composición química del polímero: La estructura molecular y la naturaleza de los enlaces químicos del polímero determinan su susceptibilidad a la degradación térmica y a la combustión.

- **Condiciones ambientales:** La temperatura, la concentración de oxígeno y la presencia de otros gases o sustancias inflamables en el ambiente influyen en la velocidad y la intensidad de la combustión.
- **Geometría del material:** La forma y el tamaño de la pieza de polímero pueden afectar la distribución del calor, la velocidad de liberación de gases inflamables y la propagación del fuego.
- **Presencia de aditivos:** Algunos aditivos, como retardantes de llama, pueden modificar la combustibilidad del polímero al interferir en las reacciones químicas de la combustión.

RETARDANTES DE FLAMA

Los nanocompuestos retardantes de llama son materiales a nano escala que incorporan agentes retardantes de llama en una matriz polimérica. Estos materiales ofrecen una serie de ventajas sobre los retardantes de llama tradicionales, como [5, 6]:

- **Mayor eficacia:** Los nanomateriales tienen una alta superficie específica, lo que les permite interactuar más eficazmente con el calor y los radicales libres, que son los principales responsables de la propagación del fuego.
- **Menor cantidad de aditivo:** Se requiere una menor cantidad de nanocompuesto para lograr el mismo nivel de retardo de llama que un retardante de llama tradicional, lo que reduce el peso del material final y mejora sus propiedades mecánicas.
- **Mejor compatibilidad:** Los nanomateriales pueden dispersarse uniformemente en la matriz polimérica, lo que mejora la compatibilidad y evita problemas de segregación. A no ser que existan interacciones que se den favorezcan la formación de aglomerados o segmentaciones.

Los retardantes de flama funcionan interrumpiendo o retardando las interacciones físicas y químicas entre el material y los factores que inician o avanzan el proceso de combustión. Algunas de las maneras en que los retardantes de flama logran esto son:

MÉTODOS FÍSICOS

- Enfriar el polímero para alcanzar una temperatura por debajo de un punto crítico que no sostiene el proceso de combustión continua.
- Crear una barrera protectora que actúa como escudo térmico, evitando la transferencia de calor entre el oxígeno y el combustible (polímero).
- Agregar aditivos inertes que, al evaporarse, generan gases no combustibles que diluyen los gases inflamables y ayudan a reducir o evitar la continuación de la combustión.

MÉTODOS QUÍMICOS

Terminación de radicales libres de hidrógeno e hidroxilo que propagan la combustión. Generación de una capa carbonosa a través de la reacción entre el retardante de flama y la matriz polimérica.

Para la adición de retardantes de llama, se ha encontrado el problema de que, para sistemas con un solo retardante de llama, se requieren grandes cantidades de aditivo para alcanzar valores aceptables. Esto puede llevar a la reducción de las propiedades de la matriz debido a las altas cargas o a problemas de mezclado por la difícil compatibilidad que presentan los polímeros. Varias soluciones y productos se han generado con aditivos

retardantes de llama en polímeros. A medida que la ciencia ha avanzado, se han estudiado sistemas donde se agregan nanocompuestos en la matriz como retardantes de llama. Esto se debe a las grandes ventajas que conlleva el uso de nanomateriales como aditivos, los cuales presentan mejoras sustanciales en propiedades térmicas con bajas concentraciones, a diferencia de los métodos o aditivos convencionales.

NANOCOMPUESTOS

Arcillas inorgánicas y Montmorillonita

La montmorillonita (por sus siglas en inglés MMT) es una arcilla mineral de los grupos de los filosilicatos ampliamente estudiados como aditivos y, en la actualidad, como nano aditivos para agregar a polímeros y generar nanocompuestos con mejores propiedades. Este material está en forma laminar el cual al ser exfoliado puede llegar a tamaños de láminas nanométricas, teniendo una lámina de un tamaño aproximado de 1 nm, y tamaños laterales desde 30 nm hasta varios micrómetros [6]. Las arcillas generan una capa de material inorgánico y residuos carbonosos, los cuales funcionan como capa protectora ralentizando el proceso de combustión del polímero [5,6]. Para varias aplicaciones también se toma en cuenta que se tiene que compatibilizar para lograr una buena delaminación, intercalación y evitar aglomeración de las láminas de la arcilla.

Normalmente se puede modificar las arcillas con sales de amonio cuaternarias para modificar la estructura superficial del material, o introducir agentes compatibilizantes para mejorar la dispersión de los nano materiales en la matriz polimérica [7,8]. El grupo de Toyota reportó una incorporación de MMT en matriz de poliamida 6 (PA 6) [9]. Se ha estudiado la utilización de arcillas/MMT orgánicas modificadas (por sus siglas en inglés OMMT), por sus mejoras en eficiencia de retardantes de flama [1]. La Figura 2 muestra un mecanismo propuesto de acción de retardación de flama de nanocompuestos de MMT/matriz polimérica [10].

Song et al estudiaron la incorporación de MMT y OMMT en un compuesto de polipropileno (PP) con polipropileno injertado con anhídrido maleico (PPgMA), PP/PPgMA, observando que la incorporación de OMMT en el compuesto genera una capa carbonosa, la cual no fue encontrada en compuestos que cuentan solo con MMT a varias concentraciones. Esta capa es importante para acción como retardantes de flama [11]. Se han estudiado varios sistemas de nanocompósitos de polímeros con uno o dos aditivos retardantes de flama agregados, por ejemplo, sistemas de policarbonato (PC) con Bisfenol A difenil fosfato (BDP) y distintas arcillas, donde se encontró que una combinación de 2% de OMMT con 6% de BDP dando como resultado mejoras en retardantes de flama de la matriz [12]. He et al trabajaron con sistema de PA6 con distintas MMT y OMMT en combinación con sal de alquino fosfinatos (ABPA), logrando generar un nanocompuesto PA6/OMMT/ABPA, el

cual al agregar un 12% de ABPA permite pasar al sistema de calificación UL-94 V-0. UL 94 es un estándar establecido por Underwriters Laboratories en Estados Unidos, reconocido globalmente para determinar la capacidad de los plásticos para resistir la ignición. La norma mide cómo un material plástico se comporta frente al fuego, específicamente si puede apagar la llama por sí mismo una vez que se ha encendido.

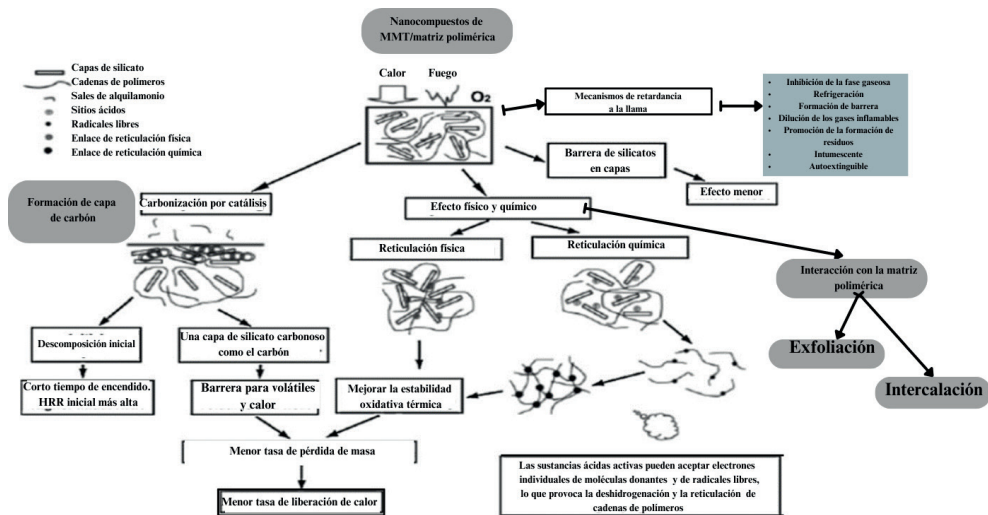


Figura 2. Esquema de retardantes de flama de nanocompuestos de MMT/matriz polimérica [10].

Dentro de esta norma, la clasificación UL 94 V-0 indica que el material debe detener la combustión en menos de 10 segundos después de la ignición y no debe producir gotas inflamables. Con un LOI de 34.8%, mientras que la mezcla de 2% ABPA/MMT logra la misma calificación y un LOI de 36% [13]. El término LOI denota el Índice de Oxígeno Limitante, que evalúa el porcentaje más bajo de oxígeno requerido para que un material siga ardiendo tras ser encendido. Este índice se representa en forma de porcentaje y se calcula siguiendo el estándar ASTM D-2863.

Debido a la importancia de los nuevos polímeros amigables con el ambiente como el ácido poliláctico y polibutileno adipato tereftalato (PLA, PBAT, etc.), el estudio de nanocompositos de arcillas con estos nuevos polímeros ha sido de suma importancia debido a la fácil inflamabilidad de la mayoría de estas resinas. Melamine polyphosphate (MPP) se ha estudiado como un retardante de flama libre de halógenos para sistemas de resina PLA. Agregar un 17 % de MPP logra una calificación de resina PLA de UL-94 [14]. Se revisó que la mejora de la dispersión ayuda a mejorar la retardación de flama. La adición de nanoarcilla C30B con MPP logra mejorar la dispersión de aditivos, reduciendo el tamaño de aglomerados a 150 nm [15].

Nanoestructuras de carbono

Diversas nanoestructuras de carbono han sido estudiadas para sistemas de retardancia de flama de polímeros, entre las cuales los más estudiados son los nanotubos de carbono (CNTs), ya sea de pared simple (SWCNTs) o de pared múltiple (MWCNTs). A parte, nano fibras de carbono (CNF), grafeno, fullerenos y otras estructuras también se están estudiando para estos sistemas. Kashiwagi et al. reportaron la mejora en retardancia en polimetilmetacrilato (PMMA) con la adición de hasta 0.5% de CNTs [16,17]. La eficiencia de retardancia de llama depende principalmente de la buena dispersión y la concentración de aditivo en la matriz [18-19]. Se ha encontrado que la retardancia de flama se basa en la formación de la capa carbonosa que protege a la matriz del polímero, ver Figura 3 [20].

Debido a la baja compatibilidad entre las estructuras de carbono con varias resinas poliméricas, la combinación de CNT con otros materiales también se ha estudiado, así como la funcionalización de estos. Por ejemplo, se han realizado estudios donde se funcionaliza los CNTs con retardantes de llama intumescentes (IFR) para el cual redujo la tasa pico de liberación de calor (PHRR) del PP debido a la formación de la capa carbonosa, y a la vez mejoró la resistencia tensil y el módulo por la buena dispersión lograda de los CNTs en un 1% CNT-w-IFR, ver figura 6 [21]. Yu et al injertaron químicamente compuestos fosfóricos clorados o derivados de 9,10-Dihidro-9-oxa-10-fosfafenantreno-10-óxido (DOPO), los cuales se ha visto que pueden servir para reducir el PHRR e incrementar los valores de LOI, probado en PLA pero con posibilidad de ayudar también en PP, el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y copolímeros o terpolímeros de etileno propileno (EP) [22].

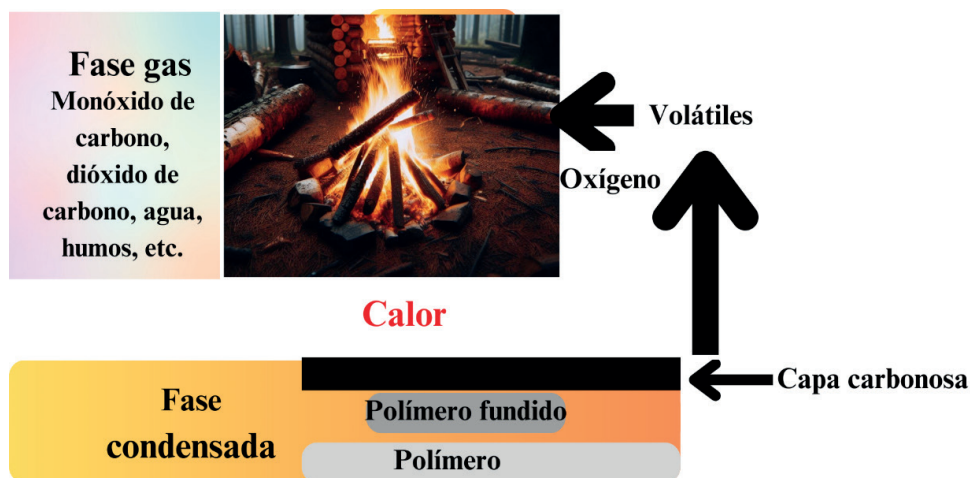


Figura 3. Esquema de la capa carbonosa que protege la matriz polimérica [20].

De las otras posibles nanoestructuras de carbono, se han generado composites de grafeno oxidado (GO) y poliestireno (PS), GO/PS, para los cuales se encontró que pueden mejorar la estabilidad térmica y la formación de la capa carbonosa protectora [23]. Entre otras mezclas estudiadas se encuentran aquellas con polivinil alcohol (PVA) como el PVA/GO con mejoras en propiedades térmicas [24] y el copolímero formado por la combinación de dos monómeros: estireno (St) y butil acrilato (BA) (St-BA) con GO, como un aditivo amigable al medio ambiente para reducir la inflamabilidad de este copolímero [25,26]. El fullereno (C60) también se ha estudiado como alternativa de nanoestructura para retardante de flama, por ejemplo, un compuesto C60/PP, el cual mejora las propiedades térmicas, retrasa la degradación oxidativa térmica y mejora la retardancia a la flama [27].

Otros nanocompuestos

Otros tipos de nanomateriales, sobre todo de compuestos inorgánicos, se han estudiado y utilizado para aplicaciones de retardante de llama. Los hidróxidos dobles laminares (LDH) son materiales inorgánicos para estudios de compuestos retardantes de llama. Se han realizado estudios de LDH en compuestos con etilvinilacetato (EVA), los cuales mejoran propiedades mecánicas y térmicas [28]. Compuestos de LDH modificados y su mezclado en el fundido se ha realizado en mezclas, formando compuestos con polietileno maleizado (MAPE) y hidrotalcita de magnesio y aluminio (Mg3Al-LDH) MAPE/Mg3Al-LDH o PA6/MgAl-LDH, mejorando la resistencia térmica de igual manera que el MMT [29]. Los nanotubos de halloysita (HNT) y fibra de celulosa han tomado importancia debido a que son de origen natural, mejorando tanto propiedades térmicas como mecánicas. Para esto, se realizan modificaciones químicas estructurales para lograr llegar a mejoras deseadas en retardancia de llama. Attia et al. manejaron un sistema con polifosfato de amonio (APP) HNT/APP/MPP para mejorar la estabilidad de ABS, encontrando una reducción de PHRR de 56.2% en la mezcla ABS con 1:1 HNT/MPP (30%) en comparación a la sola de HNT [30]. La adición de HNT como retardante adicional también se ha encontrado que mejora en comparación de utilizar otros tipos de retardantes de llama solos, por ejemplo, con fosfinato de dietilo de aluminio (ADPP) o DOPO [31,32].

Para fibras de celulosa, se ha estudiado la adición de retardante de llama resorcinol bis(difenilfosfato) RDP con una parte de fibras de celulosa (CF), donde se encontró que la adición de un 6% de celulosa genera una fibra micrométrica/nanométrica. A pesar de no pasar la prueba V-0 con resultados aceptables, se logró encontrar que la mezcla de PLA/RDP/CF puede autoextinguirse en 2 segundos, en comparación con los componentes separados como se puede ver en la Figura 4 [33].

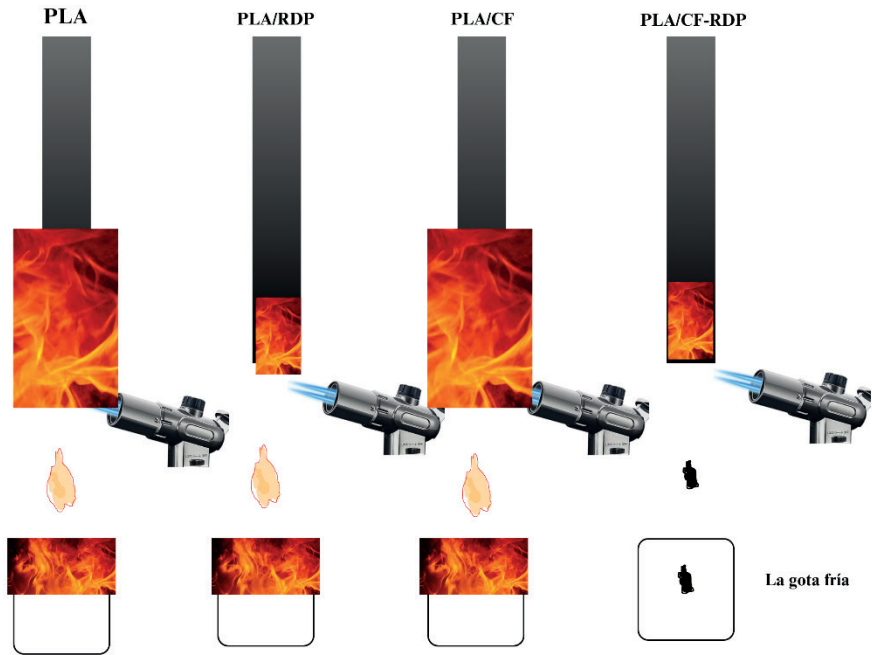


Figura 4. Esquema de prueba UL-94 para composites de PLA [33].

Mecanismos de acción

Los nanocompuestos retardantes de llama actúan mediante una variedad de mecanismos, incluyendo [33]:

- *Intumescencia*: La intumescencia es un proceso en el que el material se hincha y forma una capa carbonosa que actúa como barrera protectora contra el calor y el oxígeno.
- *Liberación de gases inertes*: Algunos nanocompuestos liberan gases inertes, como el nitrógeno o el dióxido de carbono, que diluyen los gases inflamables en el aire y reducen la concentración de oxígeno.
- *Absorción de calor*: Los nanomateriales pueden absorber grandes cantidades de calor, lo que retrasa el aumento de temperatura del material y la iniciación del fuego.
- *Inhibición de reacciones químicas*: Algunos nanocompuestos pueden inhibir las reacciones químicas que conducen a la propagación del fuego.

Aplicación de retardantes de flama en la industria automotriz

La adición de retardantes de flama juega un papel importante en la introducción de muchos tipos de plásticos en la industria automotriz, la cual es muy regulada y requiere propiedades delicadas y específicas para el correcto funcionamiento de los vehículos, ver figura 9. Debido a esto, la adición de aditivos retardantes de flama apoya a los polímeros y otros materiales a ser incorporados en sistemas automotrices, los cuales buscan mejores materiales que logren mejorar la tecnología automotriz o reducir costos de producción. La manufactura aditiva (AM) se ha estado trabajando como una solución importante para nuevos procesos de manufactura, en la cual se encuentran el sinterizado de láser selectivo (SLS) o el modelado por deposición fundida (FDM, o convencionalmente conocido como impresión 3D) como las técnicas de AM más útiles para la generación de compuestos de polímero con aditivos retardantes de flama. Se han estudiado diversos sistemas, principalmente sistemas de nylon aditivados comúnmente con compuestos retardantes a base de halógenos o fósforo (por ejemplo, marcas PA 2210 FR y DuraForm FR 1200), sistemas con polímeros de la familia poliéter éter cetona (PEEK), familia ULTEM, los cuales incluyen copolímeros de especialidad con polieterimida (PEI) y PC (PEI/PC), entre otros [34].

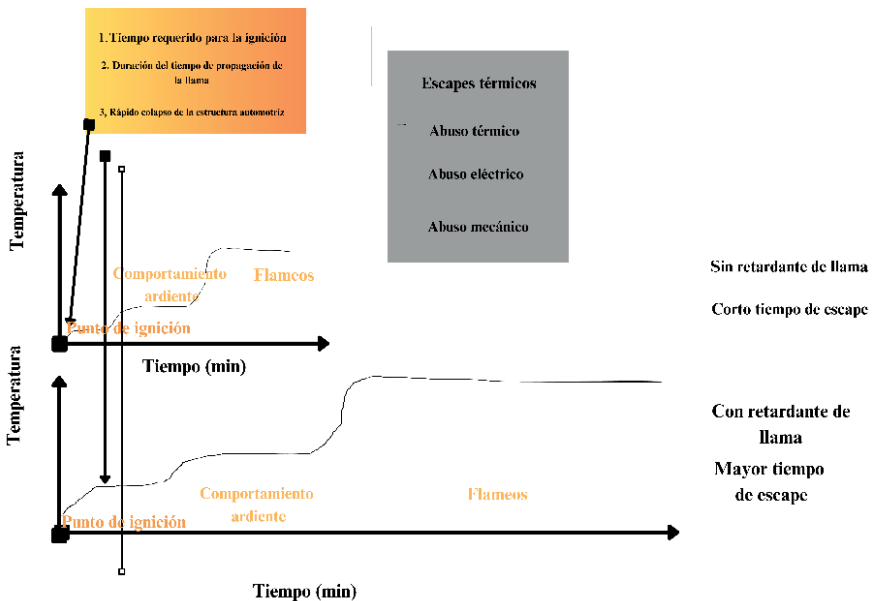


Figura 5. Esquema de la importancia de adición de retardantes de flama en sistemas de piezas automotrices [34].

Los recubrimientos de gel son de importancia para sistemas de retardantes de llama debido a que ofrecen una protección al sistema, aparte de generar un acabado deseable a las aplicaciones finales. Se aplican por métodos conocidos como esprayado o pintado con brocha, ya sea para partes automotrices, así como para partes electrónicas u otras industrias como la de construcción. El uso y la adición de nanocompuestos, así como la misma producción de capas de gel de tamaño nanométrico, pueden ayudar importantemente en la aplicación de geles o distintos tipos de recubrimientos que mejoran la propiedad de retardancia de llama [35].

Otras aplicaciones de polímeros con retardantes de llama incluyen: PLA con aditivos retardantes para aplicación en impresión 3D de piezas automotrices [36], PU aditivados para aplicación como pieles [37], compuestos de polímeros con aditivos para piezas poliméricas aplicadas a automóviles eléctricos, los cuales cuentan con propiedades parecidas a materiales convencionales para que los autos eléctricos compitan económicamente con automóviles convencionales [1,2]; entre muchos otros sistemas de polímeros aditivados con retardantes de llama.

Ventajas medioambientales y de seguridad

Los nanocompuestos retardantes de llama ofrecen una serie de ventajas medioambientales y de seguridad, como [38-43]:

- *Reducción en la liberación de gases tóxicos:* Los nanocompuestos retardantes de llama pueden reducir significativamente la liberación de gases tóxicos durante un incendio, lo que mejora la calidad del aire y la protección de la salud humana.
- *Materiales más sostenibles:* Algunos nanocompuestos retardantes de llama pueden derivarse de materiales renovables, lo que los hace más sostenibles que los retardantes de llama tradicionales.
- *Mayor vida útil:* Los nanocompuestos retardantes de llama pueden mejorar la resistencia al fuego y la durabilidad de los materiales, lo que prolonga su vida útil y reduce la necesidad de reemplazos.

Desafíos

A pesar de sus ventajas, los nanocompuestos retardantes de llama también presentan algunos desafíos, como [38-40]:

- *Homogeneización:* La homogeneización de los nanomateriales en la matriz polimérica puede ser un desafío, ya que los nanomateriales tienden a aglutinarse.
- *Dispersión:* La dispersión uniforme de los nanomateriales es crucial para lograr una eficacia óptima, y puede requerir técnicas de procesamiento especiales.
- *Seguridad de los nanomateriales:* Se están realizando investigaciones para evaluar la seguridad potencial de los nanomateriales para la salud humana y el medio ambiente.

CONCLUSIONES

Los nanomateriales se han estado estudiando a lo largo del tiempo para generar compuestos con polímeros que mejoran las propiedades térmicas, para finalmente llegar a ser buenos aditivos para la retardancia de llama. Existen sistemas muy variados que utilizan nanomateriales y morfologías distintas para el mismo objetivo. Algunos de estos sistemas, aunque no cumplen con la norma V-0 especificada para la aplicación, son sistemas que mejoran la retardancia de llama a la vez que pueden mejorar otros aspectos, como las propiedades mecánicas. Estos nano-aditivos se extienden desde nano-alótopos de carbono, arcillas inorgánicas y arcillas modificadas, fibras inorgánicas, fibras naturales, y muchos otros nanomateriales que se están estudiando hoy en día. Continuar con la búsqueda de nanocompuestos de polímeros y retardantes de llama es de suma importancia para lograr introducir una mayor variedad de polímeros en aplicaciones automotrices, donde se exigen estándares de propiedades altos para asegurar la generación de un producto correcto, lo cual apoyará a la industria automotriz a innovar y expandir el mercado, posiblemente llegando en un futuro a introducir partes poliméricas importantes en sistemas automotrices eléctricos que impulsen la industria de automóviles eléctricos, los cuales buscan resolver problemas ambientales generados por automóviles convencionales de petróleo. Los nanocompuestos retardantes de llama representan una tecnología prometedora para mejorar la seguridad contra incendios en la industria automotriz. Estos materiales ofrecen una serie de ventajas sobre los retardantes de llama tradicionales, como una mayor eficacia, una menor cantidad de aditivo necesaria y una mejor compatibilidad. Sin embargo, aún existen desafíos que deben abordarse, como la homogeneización, la dispersión y la seguridad de los nanomateriales. La investigación continua en estas áreas permitirá el desarrollo de nanocompuestos retardantes de llama más eficaces y sostenibles para la industria automotriz, contribuyendo a la creación de vehículos más seguros para todos.

REFERENCIAS

1. He, W., Song, P., Yu, B., Fang, Z., & Wang, H. (2020). Flame retardant polymer/nanocomposites through the combination of nanomaterials and conventional flame retardants. *Progress in Materials Science*, 114, 100687.
2. Lu, H., Song, L., & Hu, Y. (2011). A review on flame retardant technology in China. Part II: flame retardant polymeric nanocomposites and coatings. *Polymers for Advanced Technologies*, 22(4), 379-394.
3. Laoutid, F., Bonnaud, L., Alexandre, M., Lopez-Cuesta, J. M., & Dubois, P. (2009). New prospects in flame retardant polymer materials: From fundamentals to nanocomposites. *Materials science and engineering: R: Reports*, 63(3), 100-125.
4. Kim, Y., Lee, S., & Yoon, H. (2021). Fire-safe polymer composites: flame-retardant effect of nanofillers. *Polymers*, 13(4), 540.

5. Bartholmai M, ScharTEL B. Layered silicate polymer nanocomposites: new approach or illusion for fire retardancy? Investigations of the potentials and the tasks using a model system. *Polym. Adv. Technol.* 2004;15:355–64.
6. ScharTEL B. Considerations regarding specific impacts of the principal fire retardancy mechanisms in nanocomposites. Hoboken: John Wiley & Sons; 2007. p. 107–29 (Chap 5).
7. W. Xie, Z. M. Gao, W. P. Pan, D. Hunter, A. Singh, R. Vaia, Thermal degradation chemistry of alkyl quaternary ammonium montmorillonite. *Chem. Mater.* 2001, 13(9), 2979–2990.
8. Lee, H. M., Park, B. J., Kumar Gupta, R., Bhattachary, S. N., & Choi, H. J. (2007). Preparation and rheological characteristics of ethylene-vinyl acetate copolymer/organoclay nanocomposites. In *Journal Of Macromolecular Science Part B-Physics* (Vol. 46).
9. A. Okada, Y. Fukushima, M. Kawasumi, S. Inagaki, A. Usuki, S. Sugiyama, T. Kurauch, O. Kamigaito, U.S. 4739007 (1988) Toyota Motor Co.
10. Kiliaris, P., & Papispyrides, C. D. (2010). Polymer/layered silicate (clay) nanocomposites: An overview of flame retardancy. In *Progress in Polymer Science (Oxford)* (Vol. 35, Issue 7, pp. 902–958).
11. Lu, H., Song, L., & Hu, Y. (2011). A review on flame retardant technology in China. Part II: Flame retardant polymeric nanocomposites and coatings. In *Polymers for Advanced Technologies* (Vol. 22, Issue 4, pp. 379–394).
12. Song, R., Wang, Z., Meng, X., Zhang, B., & Tang, T. (2007). Influences of catalysis and dispersion of organically modified montmorillonite on flame retardancy of polypropylene nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 106(5), 3488–3494.
13. Feng J, Hao J, Du J, Yang R. Effects of organoclay modifiers on the flammability, thermal and mechanical properties of polycarbonate nanocomposites filled with a phosphate and organoclays. *Polym. Degrad. Stabil.* 2012;97:108–17.
14. He WT, Liao ST, Xiang YS, Long LJ, Qin SH, Yu J. Structure and properties study of PA6 nanocomposites flame retarded by aluminium salt of diisobutylphosphinic acid and different organic montmorillonites. *Polymers* 2018;10:312.
15. Xue, Y., Guo, Y., & Rafailovich, M. H. (2019, February). Flame retardant polymer nanocomposites and interfaces. In *Flame Retardants*. IntechOpen.
16. Guo Y et al. Engineering flame retardant biodegradable polymer nanocomposites and their application in 3D printing. *Polymer Degradation and Stability.* 2017;137:205-215.
17. Kashiwagi T, Du F, Winey KI, Groth KM, Shields JR, Bellayer SP, et al. Flammability properties of polymer nanocomposites with single-walled carbon nanotubes: effects of nanotube dispersion and concentration. *Polymer* 2005;46:471–81.
18. Kashiwagi T, Du F, Douglas JF, Winey KI, Harris Jr RH, Shields JR. Nanoparticle networks reduce the flammability of polymer nanocomposites. *Nat. Mater.* 2005;4:928.
19. Si M et al. Compatibilizing bulk polymer blends by using organoclays. *Macromolecules.* 2006;39(14):4793-4801.

20. Wang, X., Kalali, E. N., Wan, J. T., & Wang, D. Y. (2017). Carbon-family materials for flame retardant polymeric materials. *Progress in Polymer Science*, 69, 22-46.
21. Song PA, Xu LH, Guo ZH, Zhang Y, Fang ZP. Flame-retardant-wrapped carbon nanotubes for simultaneously improving the flame retardancy and mechanical properties of polypropylene. *J. Mater. Chem.* 2008;18:5083–91.
22. Yu T, Jiang N, Li Y. Functionalized multi-walled carbon nanotube for improving the flame retardancy of ramie/poly(lactic acid) composite. *Compos. Sci. Technol.* 2014;104:26–33.
23. R. F. Ding, Y. Hu, Z. Gui, R. W. Zong, Z. Y. Chen, W. C. Fan, Preparation and characterization of polystyrene/graphite oxide nanocomposite by emulsion polymerization. *Polym. Degrad. Stab.* 2003, 81(3), 473–476.
24. J. Y. Xu, Y. Hu, L. Song, Q. G. Wang, W. C. Fan, G. X. Liao, Z. Y. Chen, Thermal analysis of poly(vinyl alcohol)/graphite oxide intercalated composites. *Polym. Degrad. Stab.* 2001, 73(1), 29–31.
25. R. Zhang, Y. Hu, J. Y. Xu, W. C. Fan, Z. Y. Chen, Flammability and thermal stability studies of styrene-butyl acrylate copolymer/ graphite oxide nanocomposite. *Polym. Degrad. Stab.* 2004, 85(1), 583–588.
26. R. Zhang, Y. Hu, J. Y. Xu, W. C. Fan, Z. Y. Chen, Q. N. Wang, Preparation and combustion properties of flame retardant styrene-butyl acrylate copolymer/graphite oxide nanocomposites. *Macromol. Mater. Eng.* 2004, 289(4), 355–359.
27. Z. P. Fang, P. Song, L. F. Tong, Z.H. Guo, Thermal degradation and flame retardancy of polypropylene/C60 nanocomposites. *Thermochim. Acta* 2008, 473(1–2), 106–108.
28. W. Chen, B. J. Qu, Structural characteristics and thermal properties PE-g-MA/MgAl-LDH exfoliation nanocomposites synthesized by solution intercalation. *Chem. Mater.* 2003, 15(16), 3208–3213.
29. L. C. Du, B. J. Qu, M. Zhang, Thermal properties and combustion characterization of nylon 6/MgAl-LDH nanocomposites via organic modification and melt intercalation. *Polym. Degrad. Stab.* 2007, 92(3), 497–502.
30. Attia NF, Hassan MA, Nour MA, Geckeler KE. Flame-retardant materials: synergistic effect of halloysite nanotubes on the flammability properties of acrylonitrile–butadiene–styrene composites. *Polym. Int.* 2014;63:1168–73.
31. Lecouvet B, Sclavons M, Bailly C, Bourbigot S. A comprehensive study of the synergistic flame retardant mechanisms of halloysite in intumescent polypropylene. *Polym. Degrad. Stab.* 2013;98:2268–81.
32. Li Z, Expósito DF, González AJ, Wang DY. Natural halloysite nanotube based functionalized nanohybrid assembled via phosphorus-containing slow release method: A highly efficient way to impart flame retardancy to polylactide. *Eur. Polym. J.* 2017;93:458–70.
33. Guo Y et al. Incorporation of cellulose with adsorbed phosphates into poly (lactic acid) for enhanced mechanical and flame retardant properties. *Polymer Degradation and Stability.* 2017;144:24-32.
34. LV, Yi Fan, et al. Flame retardant polymeric materials for additive manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 2020, vol. 33, p. 5720-5724.

35. Kovács, Zsófia; Pomázi, Ákos; Toldy, Andrea. Development of Multifunctional Flame-Retardant Gel Coatings for Automotive Applications. *Coatings*, 2023, vol. 13, no 2, p. 345.
36. Tawiah, B., Yu, B., & Fei, B. (2018). Advances in flame retardant poly(lactic acid). In *Polymers* (Vol. 10, Issue 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/polym10080876>
37. Lu, S., Feng, Y., Zhang, P., Hong, W., Chen, Y., Fan, H., Yu, D., & Chen, X. (2021). Preparation of flame-retardant polyurethane and its applications in the leather industry. In *Polymers* (Vol. 13, Issue 11). P. 1730.
38. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2016). Guía de prevención y protección frente a riesgos de incendio en la industria del plástico. Madrid: Ministerio de Empleo y Seguridad Social.
39. Levchik, S. V., & Camino, G. (2000). Handbook of polymeric foams and polymeric composite foams. Springer Science & Business Media.
40. Observatorio de la Industria del Plástico. (2023). Guía de plásticos y fuego. https://www.observatorionoplastico.com/linea_estrategica.php?le_id=14
41. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. (2023). Química del fuego.
42. Van Krevelen, D. W., & Hoftijzer, P. J. (2007). Selective polymerization: Catalysis, mechanisms, and applications. Elsevier. <https://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/segumar/Laura/material/Qu%EDmica%20del%20Fuego.pdf>
43. Universidad Politécnica de Valencia. (2023). Combustión de polímeros. <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/5329874.pdf>

TRANSFORMANDO EL BAGAZO EN VALOR: DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA BIOPLÁSTICO DE CAÑA DE AZÚCAR

Fecha de aceptación: 01/07/2024

Siro Tagliaferro

Ingeniero de Producción (2012)
Universidad Metropolitana de Caracas,
MBA (2016)
IESA, Ciencia de Datos (2022) UCV,
profesor de tiempo completo en la
Universidad Metropolitana de Caracas
con más de 5 años de experiencia en
Ingeniería de Producción

Gabriel Enrique De Santis Ottati

Ingeniero de Producción (2023)
Universidad Metropolitana de Caracas

María Virginia Temprano Socorro

Ingeniero de Producción (2023)
Universidad Metropolitana de Caracas

RESUMEN: El bagazo de caña de azúcar, un residuo abundante en la industria azucarera venezolana presenta un gran potencial para la producción de bioplásticos sostenibles. El diseño de una planta para tal fin permitiría la diversificación industrial, la valorización de residuos y la generación de productos ecológicos. El proceso comprende el pretratamiento del bagazo, molienda y desfibrado, extracción y purificación de celulosa, modificación de la celulosa, polimerización, moldeado y

extrusión del bioplástico. La capacidad de producción, la tecnología de procesamiento, la disponibilidad de materia prima, el impacto ambiental y la viabilidad económica son factores cruciales en el diseño de la planta. Venezuela posee las condiciones necesarias para prosperar en la industria del bioplástico a partir de bagazo de caña de azúcar, gracias a la disponibilidad de materia prima, la experiencia en el sector agroindustrial y la creciente demanda de productos sostenibles. El desarrollo de esta industria puede contribuir al crecimiento económico del país, la creación de empleos y la reducción del impacto ambiental asociado a los plásticos tradicionales y la combustión del bagazo.

PALABRAS CLAVE: bagazo de caña de azúcar, bioplástico, diseño de plantas, Venezuela, sostenibilidad.

TRANSFORMING BAGASSE INTO VALUE: DESIGN OF AN INDUSTRIAL PLANT FOR SUGARCANE BIOPLASTIC

ABSTRACT: Sugar cane bagasse, an abundant waste in the Venezuelan sugar industry, presents great potential for the production of sustainable bioplastics. The

design of a plant for this purpose would allow industrial diversification, waste recovery and the generation of ecological products. The process includes the reception and pretreatment of bagasse, grinding and shredding, extraction and purification of cellulose, cellulose modification, polymerization, molding and extrusion of the bioplastic. Production capacity, processing technology, raw material availability, environmental impact and economic viability are crucial factors in plant design. Venezuela has the necessary conditions to prosper in the bioplastic industry from sugarcane bagasse, thanks to the availability of raw materials, experience in the agro-industrial sector and the growing demand for sustainable products. The development of this industry can contribute to the economic growth of the country, the creation of jobs and the reduction of the environmental impact associated with traditional plastics and the combustion of bagasse.

KEYWORDS: sugarcane bagasse, bioplastic, plant design, Venezuela, sustainability

INTRODUCCIÓN

El panorama actual del plástico es alarmante. Su consumo global se encuentra en un auge desenfrenado, impulsando la aparición de innumerables empresas que explotan sus ventajas en diversos productos, desde envases de alimentos hasta utensilios, bolsas de basura y una amplia gama más. Sin embargo, este crecimiento desenfrenado ha traído consigo graves consecuencias para el medio ambiente.

La pandemia por COVID-19 exacerbó aún más la problemática. El uso y desecho de plásticos se disparó, evidenciando un nuevo problema: como resultado, millones de mascarillas, guantes y empaques de alimentos contaminados terminaron dispersos en ecosistemas vulnerables, sin posibilidad de ser reutilizados o reciclados.

Ante este escenario desolador, surge la imperiosa necesidad de encontrar soluciones alternativas sostenibles. Es aquí donde nuestro proyecto cobra relevancia. Se propone una solución parcial a la contaminación plástica excesiva mediante la implementación de un proceso productivo innovador. Este proceso aprovecha los residuos de la caña de azúcar, específicamente el bagazo, un material que actualmente se quema, pero que gracias a sus propiedades, puede transformarse en un reemplazo viable para los plásticos de uso cotidiano a través de una serie de procesos químicos y físicos.

No sólo se mitiga el impacto ambiental del plástico, sino que también abre un abanico de posibilidades económicas y sociales. La valorización del bagazo de caña de azúcar impulsa la economía circular, generando nuevas fuentes de empleo y oportunidades de negocio en zonas rurales. Además, contribuye a la independencia energética al reducir la dependencia de los combustibles fósiles utilizados en la producción de plásticos tradicionales.

En definitiva, este proyecto representa un paso crucial hacia un futuro más sostenible, donde la armonía entre el desarrollo económico y la protección del medio ambiente sea una realidad.

ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DEL MERCADO

El punto de partida inicial se determinó utilizando formularios con una serie de preguntas referentes a la compra y consumo de variados productos de uso diario que están hechos de plásticos

Con el fin de evaluar el comportamiento del mercado frente al producto propuesto para su producción, se realizó una encuesta que ilustraba el panorama general del conocimiento de los encuestados en base a un producto bioplástico.

DESARROLLO DEL ESTUDIO TÉCNICO

Una vez realizado el estudio de las encuestas entregadas por los usuarios dentro del mercado, se procede a estimar una producción capaz de suplir con la demanda evidenciada y así seleccionar la maquinaria adecuada, calcular la capacidad productiva y poder establecer la localización estratégica de la planta.

LOGÍSTICA INVERSA

A través de la metodología 11 Rs se plantea la recepción del bagazo desechado por la industria agrónoma para proceder a realizar un producto con características de biodegradabilidad y sostenibilidad.

ESTUDIO DE MERCADO

Para realizar el estudio de mercado se tuvo que encuestar a los potenciales clientes del producto, a través de Google Forms de la cual se obtuvieron 403 respuestas satisfactoriamente. Del siguiente formulario se obtuvo información acerca de los distintos usuarios interesados, al igual que del conocimiento que poseen respecto del producto que será entregado. El tamaño de muestra establecido para que los datos obtenidos fueran representativos de la población fue de 385 personas, según el cálculo por la web de Netquest (2022), por lo que el muestreo del mercado se realizó con éxito y se tiene suficiente sustento para proceder a estudiar las características de la población y sus necesidades. El formulario realizado servirá para segmentar a las personas según sus intereses y determinar el mercado potencial o meta con énfasis en los municipios que conforman Caracas, Venezuela.

ANÁLISIS DE ENCUESTAS

Para llevar a cabo la encuesta realizada, se elaboraron un total de 15 preguntas con la finalidad de recolectar algunas características de los encuestados y de comprender el interés y conocimiento que presentan hacia el producto.

INFORMACIÓN ACERCA DE LOS ENCUESTADOS

Clasificación de los encuestados según su lugar de residencia

Las siguientes dos preguntas harían referencia a la ubicación de residencia de estos para evaluar si se encontraban dentro del área metropolitana de Caracas, área de estudio para la siguiente investigación. En la figura 2 se puede observar que cerca del 80% de los encuestados reside en el área metropolitana de Caracas.

Conocimiento de los encuestados acerca de los bioplásticos

Después de conocer las características biológicas y demográficas de las personas, se realizaron preguntas que se refieren al conocimiento de estos acerca de los bioplásticos, de donde los adquirieron en caso de afirmar su conocimiento; sus propiedades y si han estado en contacto con algún producto de este tipo. En la figura 1 se puede visualizar que más de la mitad o un 53,3% de los encuestados conoce el término bioplástico.

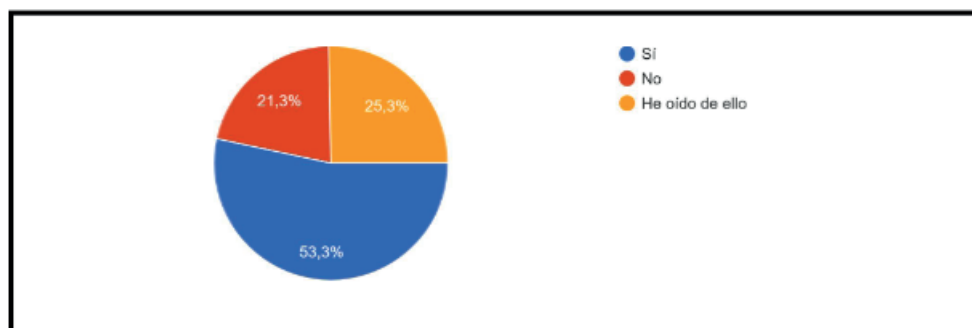


Figura 1. Resultados de la pregunta respecto al conocimiento del término bioplástico.

Al ser afirmativa la respuesta de este porcentaje de los encuestados, se les solicitó señalar de donde tuvieron la oportunidad de conocer acerca de la temática, pregunta de la cual se obtuvo una serie de respuestas en las que mayormente destacan, el internet con un porcentaje predominante de 50,6%, las redes sociales en segunda instancia con un 30,2% y amigos, familiares o profesores con un 24,4%.

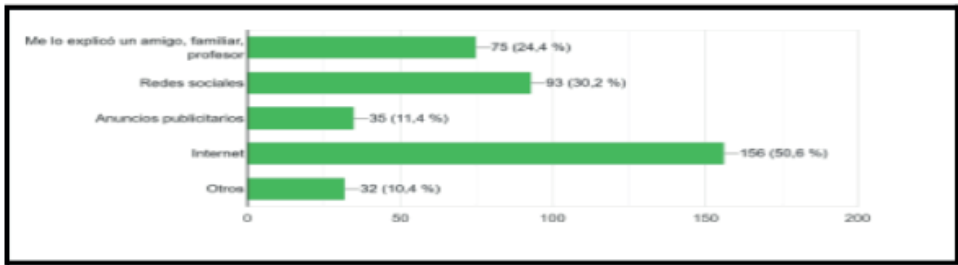


Figura 2. Resultados de la pregunta respecto a la fuente de conocimiento acerca del bioplástico.

Se le preguntó a los encuestados si habría alguna vez observado productos de bioplástico en Venezuela, a lo que un poco más de la mitad o un 50,6% de las personas respondió “No estoy seguro”, índice que permite determinar que la mayoría consume los productos independiente de su origen, un 38,2% afirma no han observado ningún material de este tipo y el porcentaje restante de 11,2% señala alguna vez haber visto productos de bioplástico

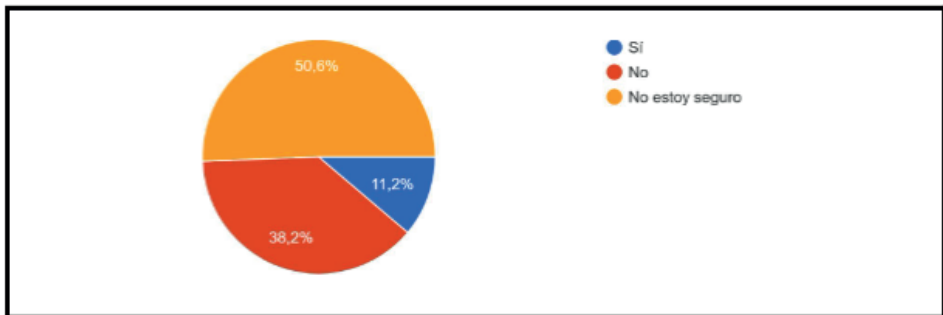


Figura 3. Resultados de la pregunta referente a la visualización de productos a base de bioplástico en Venezuela.

De los encuestados seleccionar la opción “Si” se les realizó la interrogante respecto a que productos de bioplástico habrían avistado. De entre las variadas respuestas descritas, destacan: Bolsas de compra con un 16,7%, pitillos con un 6,3%. Igualmente existirían más opiniones en relación a esta pregunta, pero con porcentajes equitativos. De esta pregunta podemos entender que una gran parte de los encuestados afirman haber avistado bolsas hechas de bioplásticos, lo que supone una gran tendencia de otras empresas a fabricar productos de este estilo.

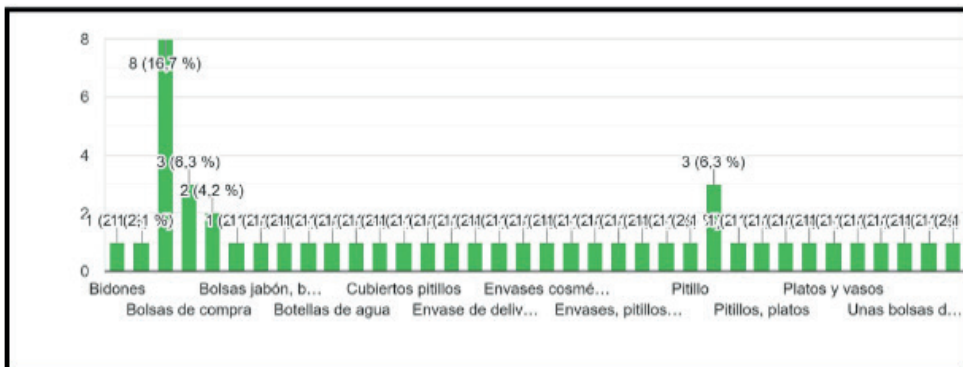


Figura 4. Resultados de la pregunta respecto a avistamientos de productos de bioplástico en Venezuela.

Preferencias del mercado para realización de productos a base de bioplástico

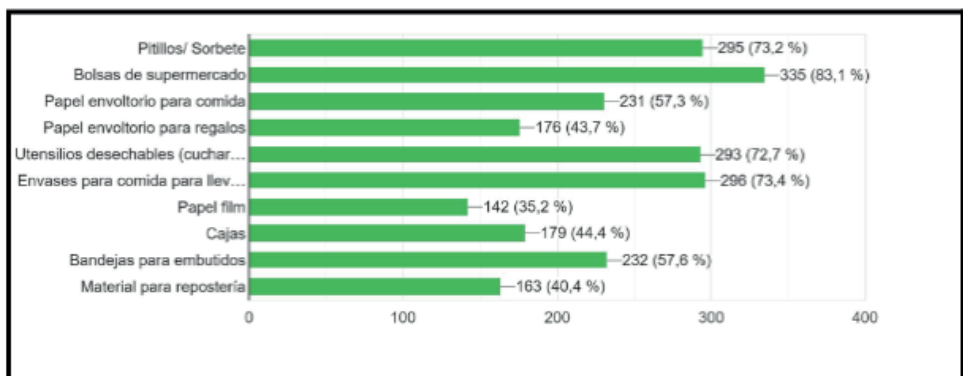


Figura 5. Resultados acerca de la preferencia de los encuestados para la realización de productos de bioplástico.

Preferencias del precio estimado para el producto final

Con esta interrogante se busca conocer la preferencia del mercado en relación a costos de adquisición para productos de bioplástico a un precio mayor que el de la competencia, puesto que el procedimiento para su elaboración pudiese ser más costoso. El 33,7% está de acuerdo con precios que superen el de la competencia dentro del mercado, más por una diferencia casi mínima el 32,3% no accedería a su compra si el precio fuere mayor al 50% de los productos de plástico y anime. Un 28% se vería desinteresado si el precio del bioplástico estuviera un 30% por encima de los productos comentados anteriormente y un 6% no estaría interesado en comprar los mismos

Análisis FODA

Dentro de la matriz se analizan las fortalezas que presenta un bioplástico termoplástico y biodegradable dentro del entorno de Caracas, Venezuela, donde se evaluaron los factores externos e internos que podían verse reflejados tanto en la producción del material como en su comercialización.

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none">• Producto de calidad• Es Biodegradable• Materia prima sencilla y económica• Diversidad de uso• Materia prima nacional	<ul style="list-style-type: none">• Amplia aceptación por parte de los consumidores• Un mercado nacional no explotado• Posible expansión nacional e internacional• Producto de consumo masivo
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none">• Falta de divisas para pago de maquinaria• Falta de conocimiento conductual del mercado• Es un producto nuevo	<ul style="list-style-type: none">• Competencia directa e indirecta• Crisis económica e hiperinflación

Tabla 1. Matriz FODA

Se estableció el FODA cruzado donde se trazaron las diversas estrategias que mitiguen el impacto de las amenazas y reduzcan las debilidades para aprovechar, defender, reforzar y movilizar a los productos.

Partiendo del análisis FODA inicial se elaboró un FODA cruzado para establecer las estrategias, empezando por las ofensivas, continuando por las adaptativas y de supervivencia, y acabando por las defensivas.

Estrategias FO: aprovechando las oportunidades y apoyándonos en las fortalezas se definió la estrategia ofensiva.

Estrategias DO: ante la incapacidad de aprovechar una oportunidad por la existencia de una debilidad se estableció la estrategia adaptativa.

Estrategias DA: se basan en la existencia de una amenaza que nos permite apoyarnos en una debilidad; así se establecieron las estrategias de supervivencia y conservación.

Estrategias FA: Ante la posibilidad de apoyarse en una fortaleza para reducir la posibilidad de una amenaza, se establecieron las estrategias defensivas.

FODA cruzado	Fortalezas	Debilidades
Oportunidades	<p>→ Ofrecer el material a varias industrias que trabajen con plásticos, para aumentar la recepción del mismo.</p> <p>→ Reactivar el incentivo de producción nacional</p>	<p>→ Diseñar una investigación de mercado y comportamiento del consumidor</p>

Tabla 2. FODA cruzado para la definición de estrategias (Oportunidades).

FODA cruzado	Fortalezas	Debilidades
Amenazas	<p>→ Mantener los precios en moneda internacional para que no sean afectados por la inflación.</p>	<p>→ Se requiere financiamiento externo y/o asociaciones para iniciar la producción</p>

Tabla 3. FODA cruzado para la definición de estrategias (Amenazas).

DEMANDA DEL PRODUCTO

Proyección estimada de la demanda

Para establecer la proyección estimada de la demanda se obtienen las siguientes cifras:

- **Mercado potencial:** 1,4 millones de personas en Caracas con alta capacidad de compra (estratos A y B).
- **Interés en el producto:** 25,06% de la población objetivo estaría dispuesta a comprar bioplástico a mayor precio que la competencia.
- **Demanda estimada:** 14.393 bobinas de bioplástico en tres tamaños.
- **Demanda anual:** 597.622.580 metros cúbicos de bioplástico.

Se realizó un instrumento de medición de conocimiento sobre el proyecto y preferencias del consumidor en base a las respuestas obtenidas dentro de la encuesta realizada, tomando como referencia la encuesta ENCOVI 2022 y la entrevista de Luis Vicente León (abril, 2022), presidente de Datanálisis para el cálculo estimado del mismo.

A continuación, en la Tabla 4 se muestra el porcentaje de la población total que se encuentra interesado en conseguir el producto.

Población total para adquisición de productos bioplásticos		
Total de personas encuestadas	Total de personas que tienen conocimiento del material a producir	Total de personas que estarían dispuestas a comprar un producto a base del bioplástico a producir aún así el precio fuera superior con respecto al mercado
100%	53,30%	33,70%
403	215	136

Tabla 4. Población total de adquisición de productos bioplásticos en los encuestados.

Si bien el producto final de la planta es un producto semiterminado, que debe procesarse, se indaga en como posibles empresas pueden estar interesadas en utilizar esta nueva materia prima, siendo claramente diferenciadora en el mercado con atributos sostenibles; es por ello que basándose en el estudio de “Percepción del mercado verde en consumidores de productos de consumo masivo” de Uribe, X. realizado en el 2015 en Valencia, Carabobo, se puede estimar que aunque existe un interés en productos amigables para el medio ambiente, el mercado no posee la suficiente información de concientización por lo tanto afirma que “futuros emprendedores que deseen incursionar en este segmento de mercado que deben tomar en cuenta cuidar los costos, los procesos y la cadena de valor”.

Seguidamente, se presenta en la figura 3 la cantidad de personas que residen en el Área Metropolitana de Caracas y estarían dispuestos a pagar el producto así sea el precio fuera mayor al de la competencia como acercamiento a la realidad de la demanda del producto en el mercado dentro del área mencionada.

Población total para adquisición de productos bioplásticos en Caracas a un precio mayor al de la competencia		
Total de personas encuestadas	Total de los encuestados que residen en el Area Metropolitana de Caracas	Total de los encuestados que residen en el Area Metropolitana de Caracas que estarían dispuestos a comprar un producto a base del bioplástico a producir aún así el precio fuera superior con respecto al mercado
100%	79,40%	31,56%
403	320	101

Tabla 5. Población total para adquisición del producto en Caracas a un precio mayor al de la competencia.

La demanda estimada para el primer año de operación es de 14.393 bobinas de bioplástico en tres tamaños, lo que equivale a 597.622.580 metros cúbicos de material al año dividido entre los tres tamaños de bobinas que pueden convertirse en pitillos, envases y bolsas.

MERCADO META

El mercado meta se ha definido como las personas con alto poder adquisitivo que residen en el Área Metropolitana de Caracas y que están interesadas en productos sostenibles.

Ubicación: Área Metropolitana de Caracas.

Tamaño: 350.868 personas.

Características:

- Poder adquisitivo alto.
- Interés en productos sostenibles.
- Disposición a pagar un precio superior por productos ecológicos.

Capacidad requerida

La capacidad requerida para producir en vista del mercado meta definido, será calculada con la proyección de la demanda del producto como se observa en la tabla 7.

Se toman tres tamaños de bobinas que serán destinadas a tres tipos de productos, los mismo fueron los tres más votados en el instrumento realizado como deja claro la figura 11 sobre las preferencias del mercado.

Donde la bobina de 31 cm sería destinada a la fabricación de pitillos, la de 62 cm para fabricación de bolsas y la de 110 cm para envases para comida para llevar, todo esto es posible dada a la formulación del bioplástico que lo hace apto para llevar a cabo dichos subproductos.

En la tabla 8 se observan los cálculos realizados para la estimación de la demanda del mercado meta.

Demanda del mercado meta			
Producto	Bobinas semanales	Bobinas anuales	Kg necesarios de bagazo
Bobina 31 cm	5	186	5.800,89
Bobina 62 cm	140	7.265	453.831,00
Bobina 110 cm	98	6.942	2.252.564,63
Total	243	14.393	2.712.196,52

Tabla 6. Demanda del mercado meta venezolano (Kg de bagazo necesario).

Mercado Meta	350.868	Cantidad de pitillos posibles de consumo semanalmente	2
Porcentaje de personas que consumen plásticos semanalmente	43,90%	Cantidad de pitillos posibles de consumo anualmente	308.063
Personas del mercado meta que consumen plásticos semanalmente	154.031	Cantidad de bobinas de 31 cm necesarias para cumplir con la demanda de pitillos semanalmente	5
Bolsas promedio que consumen los venezolanos mensualmente	3	Cantidad de pedidos realizados en Caracas en el 2021	1.000.000
Cantidad de bolsas posibles de consumo semanalmente	444.321	Área promedio de un envase para llevar de 100 cm x 100 cm	10.000
Cantidad de bobinas de 110 cm necesarias para cumplir la demanda de bolsas semanalmente	98	Cantidad de bobinas de 62 cm necesarias para cumplir la demanda de envases de comida para llevar semanalmente	140

Tabla 7. Demanda del mercado meta venezolano (Cálculo de la demanda).

MERCADO META

Producción inicial

Baca (2008) establece en su libro Evaluación de proyectos que un proyecto que se encuentra en la etapa de inicio, satisfacer el 10% de la demanda total calculada en base al mercado meta, por lo que siguiendo esta teoría la décima parte de las unidades elaboradas será planteada en la tabla 8 para cada producto.

Demanda del 10%		
Producto	Bobinas anuales	Kg necesarios de bagazo
Bobina 31 cm	19	580
Bobina 62 cm	727	45.383
Bobina 110 cm	694	225.256
Total		271.219,65

Tabla 8. Cantidad de bobinas semanales y anuales para la producción inicial

ESTUDIO TÉCNICO

Obtención, revisión y almacenamiento de la materia prima

La materia prima será recibida del Central Azucarero Portuguesa C.A. en el área de entrega donde se descargará, organizará y será pesada, para luego ser dirigida al área de revisión en busca de cualquier detalle que pueda llamar la atención, como pueden ser hongos que comprometan un lote del producto; todo en presencia de un diligente de parte del proveedor. El diseño del proceso productivo permite utilizar el bagazo en su totalidad, ya que este pasará por varios procesos de triturado, tamizado y limpieza hasta obtener la muestra final. Las impurezas que resulten de estos procesos se destinarán a creación de abono.

Una vez se complete el procedimiento anterior se transporta el bagazo hasta el área de almacén inicial, donde la humedad sea mínima (menor al 20%) para conservarlo hasta su ingreso en la cadena de producción. Tales condiciones de humedad mínima se medirán con ayuda de un higrómetro, contando con un espacio con deshumidificador funcional. En este almacenamiento se llevará control de las cantidades disponibles y serán contabilizadas para su manejo en bases de datos.

ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

Secado I

El secado inicial del bagazo previamente almacenado y contabilizado es la primera actividad dentro del proceso productivo cuyo fin es el de eliminar todo tipo de humedad y resto de azúcares ya que el siguiente paso se trata de triturado y estas deben de quedar lo más sueltas posibles para un mejor manejo de la materia. Este procedimiento facilitará la siguiente etapa de trituración, puesto que reduciendo dicha humedad hasta mínimo un 10%, facilita la trituración o disminución del tamaño de partículas a ser utilizadas en el resto de la cadena productiva. La temperatura manejada será de 70 °C por 20 horas para alcanzar las propiedades deseadas.

Trituración

Con el fin de un mejor manejo y homogeneización de materia se tritura de primero en un molino de martillo, el mismo de utilidad para materiales desde blandos a medios duros; para reducir el tamaño de las partículas de mayor tamaño en grandes cantidades de manera rápida y eficiente.

Pulverización I

Después del proceso de trituración se lleva la materia a un molinillo donde se reduce el tamaño de partícula aún más, hasta un tamaño no mayor a 1 mm.

Tamizado I

En esta etapa se tamiza el bagazo molido anteriormente para homogeneizar igualmente las partículas al tamaño descrito en la máquina previa.

Almacenamiento en silos

En esta cadena de valor una parte del lote que ingresa en la línea de producción del área de máquinas será dirigida al almacenamiento en los silos ubicados en la parte exterior de la planta para ser utilizado más adelante cuando sea requerido, mientras que la otra parte del lote sigue el proceso hasta obtener el producto buscado.

Extracción de la celulosa

Cuando el lote designado alcanza esta etapa se procede a la mezcla del bagazo seco, sulfito de sodio y bicarbonato de sodio en un reactor para su cocción a 300°C durante 90 minutos. Las proporciones de cada compuesto se definen de la siguiente manera: 6.24% de bagazo, 0.57% de sulfito de sodio $Na(SO)$, 0.36% de bicarbonato de sodio ($NaHCO$) y 92.83% de agua (H_2O), según Naranjo y Temprano (2022). Una vez se cumpla el período establecido de cocción, se desactiva el calentamiento del reactor para que alcance una temperatura ambiente para después poder retirar la ahora pasta celulosa resultante de este proceso.

Tamizado II

En este tamizado se captura la celulosa separándola del licor negro que contiene los xilanos (hemicelulosa y lignina) para así transportarla al primer lavado de la fibra.

Lavado de fibra

Durante el proceso de extracción de la celulosa se desprende un licor negro, el cual debe ser retirado con un lavado y filtrado del mismo, éste se procede a realizar con agua limpia la cual es extraída del tanque de agua de la planta. Se realiza con una relación de 3:1 agua-celulosa.

Secado II

Al salir del lavado de fibra se realiza nuevamente un secado a 70 °C por 20 horas para eliminar el exceso de humedad a causa del lavado intenso con agua para proceder con el blanqueamiento.

Blanqueamiento

La finalidad del blanqueamiento es neutralizar el pH para prevenir la modificación del mismo en los alimentos, por lo que es medido durante la duración entera del proceso y el rango esperado para el valor de este estaría entre 6,5 y 7,2.

En este proceso la fibra de celulosa obtenida de la anterior etapa es sometida a un blanqueamiento utilizando una solución acuosa al 3% de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) como agente oxidante, la misma es utilizada en conjunto con agua destilada para formar una solución al 19% v/v mediante la agitación de este y ser vertida sobre la pulpa.

Secado III

Posterior a esto, se filtró y se secó nuevamente a 70 °C durante 20 horas. El producto obtuvo un pH en un rango de 6,8 hasta 7,2. Cuando el pH es básico se obtiene una pasta de color marrón claro, al tener en pH neutro cambia de color a amarillo claro después del secado

Pulverización II

Una vez más y a causa del aumento del tamaño de las partículas en el transcurso de los procesos anteriores, se ejecuta un procedimiento de pulverización para disminución de las dimensiones de estas.

Tamizado III

El segundo tamizado realizado busca homogeneizar el tamaño de la partícula a un equivalente de 0,425 mm. La fibra tanto del bagazo como la de la celulosa se expande al contacto con los líquidos y para maximizar su acoplamiento con el aglutinante se debe homogeneizar el tamaño de la partícula.

Mezclado del aglutinante

El aglutinante es la mezcla de los reactivos que se emplean para adherir los distintos elementos, estos serían el almidón de yuca y celulosa como los polímeros, glicerina siendo el elemento plastificante, agua como disolvente y ácido acético que aumenta la resistencia de la composición por sus cualidades estabilizantes y extensoras.

Extrusión de película

La extrusión consiste en calentar el bioplástico y empujarlo a través de una matriz el cual procede a ser rebobinado.

Rebobinado

Con el fin de comercializar el bioplástico como producto semiterminado, se decide realizar tres tipos de bobinas para los tres productos más solicitados en la encuesta como se observa en la figura 12, los tamaños a realizar son los que se encuentran en la tabla 9.

	Ancho (cm)	Largo (cm)	Area (cm ²)
Laboratorio	10,0	10,0	100,0
Bobina 31 cm	31,0	22200,0	688200,0
Bobina 62 cm	62,0	22200,0	1376400,0
Bobina 110 cm	110,0	65000,0	7150000,0

Tabla 9. Medidas de las bobinas a realizar en la planta.

PRUEBAS REALIZADAS AL BIOPLÁSTICO

Como todo producto, la calidad debe ser revisada con el fin de buscar una mejora continua y garantizar las propiedades del producto final, es por ello que se aplican dos tipos de prueba calidad siendo fundamentales las de biodegradabilidad y análisis mecánico.

Prueba de biodegradabilidad

Los ensayos de biodegradabilidad estudiarán el deterioro de las propiedades físicas de los productos y materiales con respecto al medio ambiente en condiciones ambientales específicas. En este caso se utilizará la prueba ISO 20200, desarrollada por la Organización Internacional de Normalización (ISO) está diseñada específicamente para materiales plásticos, este método de ensayo permite evaluar el grado de desintegración en condiciones de compostaje aeróbico simulado, mediante técnicas de tamizado y cambio de masa. De este modo, indica la probabilidad de que un plástico se desintegre cuando se coloca en el entorno del compost.

Prueba de análisis mecánico dinámico (DMA)

Este es un análisis de caracterización dinámica que mide la tensión en función de la deformación o la fuerza en función del desplazamiento. Se aplica una deformación sinusoidal al material y se mide la tensión resultante.

Diagrama de procesos

En el apéndice 8 se demuestra el diagrama de procesos involucrados en la elaboración del bioplástico.

Diagrama de bloque de los procesos

La extracción de la celulosa y producción de bioplástico consta de 6 pasos como se muestra en la siguiente figura:

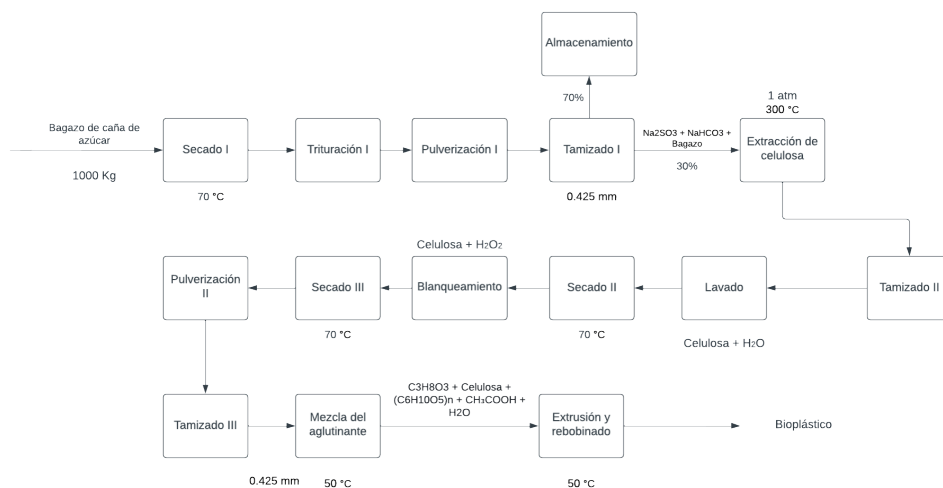


Figura 6. Diagrama de bloques de los procesos en planta.

DISEÑO DE PLANTA

Maquinaria y equipos necesarios

El proceso de elaborar el bioplástico deseado está compuesto de dos etapas: la primera para obtener el bagazo seco, triturado y molido, y la segunda para la extracción de celulosa y almacenamiento final.

Selección de maquinaria y equipos

Una vez establecida la maquinaria y equipos necesarios para la producción del bioplástico se eligieron los proveedores de los mismos utilizando una matriz ponderación, la ponderación establecida tiene un rango del 0-10, donde 0 es la puntuación más baja y 10 la más alta.

A continuación, se expresan los factores con su respectiva ponderación, los cuales fueron avalados por expertos:

Capacidad (25%) C: cantidad máxima de producción de cada equipo, siendo los de mayor capacidad, los de mayor puntuación.

Costo (25%) Ct: inversión a realizar para la adquisición de los equipos

Garantía (15%) G: tiempo límite desde la compra del equipo para probar y verificar que el mismo funcione adecuadamente y que se posea las especificaciones indicadas.

Instalación (10%) I: configuración y acondicionamiento de los equipos en la planta, siendo los proveedores que incluyan este servicio en su precio, los de mayor puntuación.

Unidades requeridas (15%) Ur: los equipos que sean capaces de producir la demanda requerida sin la necesidad de unidades extra se les concede mayor puntuación.

Operadores (10%) O: personal necesario para poner a funcionar la maquinaria así como también de llevar el control de las mismas, siendo las máquinas que necesiten menor personal las de mayor puntuación.

Máquina	Función	Modelo	Capacidad (kg)	Potencia (kw)	Cantidad de máquinas
Horno I	Secado	Horno de convección eléctrico	200	0,8	5
Trituradora I	Trituración	Molino de martillo	250	11	1
Pulverizador I	Pulverizador	Molinillo industria eléctrico	250	22	1
Tamizador I	Tamizado	Tamizador por vibración	250	0,55	1
Reactor	Extracción de celulosa	Reactor encamisado de doble capa	200	0,2	2
Tamizador II	Tamizado	Tamizador por vibración	200	0,55	2
Tanque con agitador I	Lavado de la fibra	Tanque con agitador	500	3	1
Horno II	Secado	Horno de convección eléctrico	150	30	2
Tanque con agitador II	Blanqueamiento	Tanque con agitador	500	3	1
Horno III	Secado	Horno por convección de aire caliente	150	30	2
Pulverizador II	Pulverizado	Molinillo industria eléctrico	150	22	2
Tamizador III	Tamizado	Tamizador por vibración	200	0,55	1
Tanque con agitador III	Mezclado del aglutinante	Tanque con agitador	500	3	1
Extrusora	Extrusora	Extrusión con rebobinado	240	5,5	1

Tabla 10. Selección de maquinaria y equipos.

Horno de secado I

- Mayor capacidad para recibir la materia prima (bagazo) una vez al año.
- Funciona al vacío con una capacidad de 200 Kg cada uno.
- Se propone la compra de 5 equipos para mejorar los tiempos de producción.

Trituradora I

- Molino de martillo para mejorar el tamaño de las fibras del bagazo.
- Potencia suficiente para manejar la dureza del material.

Pulverizador I

- Transforma tiras y pedazos en polvo de bagazo.
- Minimiza el tamaño del material para la extracción de celulosa.

Tamizador I

- Verifica que el tamaño de las partículas sea de 0.436 mm.
- Captura y descarta impurezas.

Reactor

- Extrae la celulosa del bagazo con agua, monosulfito de sodio y bicarbonato de sodio.
- Presión de 1 atm y temperatura de 300 C.

Tamizador II

- Filtrar líquidos y pequeños externos que se desprendieron durante la reacción.
- Prepara la mezcla para el siguiente paso.

Tanque con agitador I

- Lava la celulosa con licor negro desprendido.
- Llenado con agua y agitando continuamente durante dos horas.

Horno II

- Horno de bandejas donde se seca la pulpa celulósica durante 20 horas a 70 C.
- Elimina toda el agua absorbida durante la extracción de la celulosa y el lavado.

Tanque con agitador II

- Realiza el blanqueamiento y corrección del pH de la celulosa con peróxido de hidrógeno, agua y un phmetro.

Horno III

- Seca la celulosa durante 20 horas a 70 C en un horno de bandejas con aire caliente.

Pulverizador II

- Mantiene el tamaño de la partícula de la celulosa para mejorar la absorción del aglutinante.
- Capacidad de 200 Kg.

Tamizador III

- Asegura el tamaño de la partícula de la celulosa y la mantiene pura.
- Capacidad de 1000 Kg por hora.

Tanque con agitador III

- Mezcla el aglutinante (glicerina, almidón de yuca, agua, ácido acético) y la celulosa para crear el bioplástico.
- Agitación continua a 50 C durante 90 minutos.

Extrusora

- Complejo de máquinas donde el bioplástico se calienta, comprime y sale por una boquilla cilíndrica.
- Se coloca el bioplástico caliente sobre rodillos calientes que estiran y calientan el material para crear una película.
- La película se rebobina para su venta.

LAYOUT

La figura 8 presenta el diseño del layout, presentando todas las áreas fundamentales para el funcionamiento de la planta, permitiendo una eficacia y continuación del procedimiento y las conexiones con todas las secciones.

La figura muestra el flujo de materia prima hasta llegar a un producto semiterminado en forma de U. Una vez finalizado el proceso productivo, el producto se almacena en el área que conecta el santuario de la planta con el despacho de gandolas. La planta se divide en varias áreas, que incluyen recepción, gestión, venta, almacenes, bagazo, maquinaria y almacenamiento de producto semiterminado. Las áreas externas incluyen silos de almacenamiento y almacenamiento de agua potable.

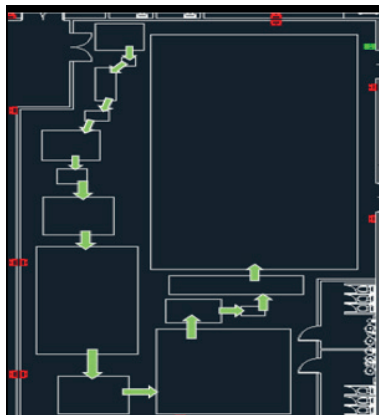


Figura 7. Flujo de la producción.

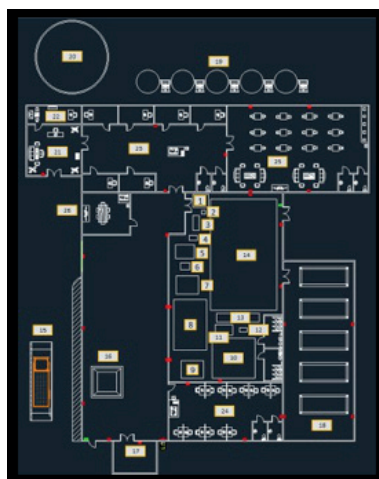


Figura 8. Señalización de las áreas de la planta.

Nro.	Denominación de área
1	Secado
2	Triturado
3	Pulverizado
4	Tamizado
5	Extracción de celulosa
6	Tamizado
7	Lavado de fibra
8	Secado
9	Blanqueamiento
10	Secado
11	Pulverizado
12	Tamizado
13	Mezclado del aglutinante
14	Extrusión
15	Recepción de materia prima
16	Revisión de materia prima
17	Almacenado de materia prima
18	Almacenado de producto semi-terminado
19	Almacenado de bagazo tamizado
20	Tanque de almacenamiento de agua
21	Recepción
22	Oficina del gerente general
23	Oficinas de la gerencia
24	Oficina de las jefaturas
25	Comedor y área de descanso
26	Sala de conferencias

Tabla 11: Denominación de áreas del Layout de la planta

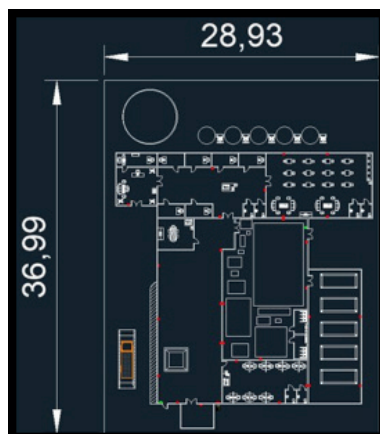


Figura 9. Dimensiones de la planta.

CAPACIDAD INSTALADA

El bagazo se recolecta en zafra, de 9 meses a 1 año, manteniendo un stock óptimo y un pescado preasignado, recolectado y revisado.

El software Arena Simulación determina la capacidad de la planta, y se encuentra que el primer lote tenía una capacidad de 1000 kg durante 20 horas, mientras que el segundo tenía una capacidad de 200 kg.

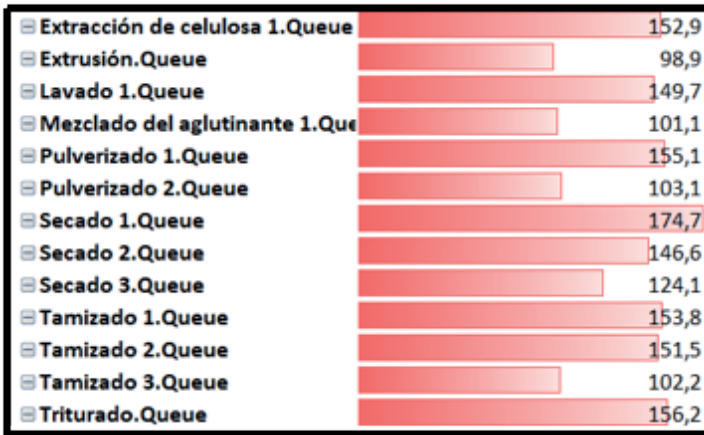


Figura 10. Resultados de Arena.

CAPACIDAD ESTÁNDAR

Las máquinas en el diseño de la planta de Arena Simulación pretenden operar entre 8 y 24 horas, con la última máquina dividida en tres turnos para tres cambios en la jornada de los operadores y equipos de seguridad, lo que resulta en horas de trabajo similares.

LOGÍSTICA INVERSA

La logística inversa se centra en la mejora continua tanto de los procesos como de los productos, buscando que el material, diseñado y fabricado haciendo uso del modelo de logística inversa, generando beneficios al productor, consumidor y medioambiente. En el presente caso se presenta una metodología nueva en un proceso productivo con una empresa de 52 años en el mercado, como lo es el Central Azucarero Portuguesa, donde el desperdicio de la extracción del azúcar es transportado para dar un nuevo producto que está en alta demanda.

MÉTODO DE LAS 11 RS

El árbol de decisión se encuentra ubicado en el apéndice 7, y siguiendo las preguntas del mismo, se obtuvo el tipo de R al que pertenece el bioplástico que se implementa en la logística inversa para así analizar sus posibles destinos y usos posteriores una vez haya cumplido su función principal:

¿Se pueden establecer procesos de recolección tanto para la LIA como la LIS a costos razonables?

Sí.

Ante una respuesta afirmativa, se procede a seguir entonces con la pregunta 2.

¿Se tiene la capacidad de recibir y clasificar los productos que vienen tanto de la LIA como de la LIS, a costos razonables?

Sí, se considera contar con el personal preparado para la clasificación del bagazo, además de que pasa por una serie de tratamientos para descartar impurezas.

Ante una respuesta afirmativa, se procede entonces con la pregunta 4.

¿Lo recibido es el producto completo o cuasi completo?

Si, el producto retorna a la fábrica es de manera cuasi completa, siendo completa la caña de azúcar y cuasi completo el bagazo.

Al ser una respuesta afirmativa se continúa con la pregunta 6.

¿Está muy deteriorado?

No, este producto es un desperdicio para una industria, pero la materia prima de ésta, una vez ingresado se procede a triturar, tamizar y separarlo de cualquier impureza presente.

Al presentar una respuesta negativa se procede a la pregunta 6.

¿Requiere reemplazo de piezas mayores?

Sí, no siendo un reemplazo sino transformaciones químicas.

Por lo tanto, después de realizar el cuestionario y afirmaciones se determinó que es un proceso que encaja en R07, es decir reprocesables.

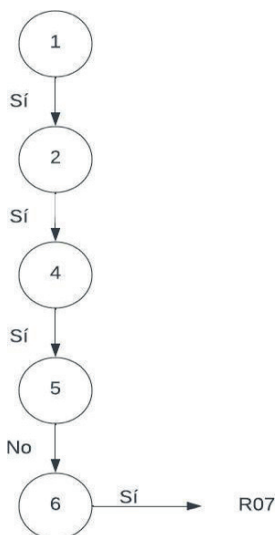


Figura 11. Estructura de árbol de decisión para el 11 Rs del bioplástico a partir de bagazo de caña de azúcar.

Aspecto a evaluar	Rango de puntaje	Puntaje obtenido	Impacto						Puntos totales
			Ambiental (1 a 7)		Mercado (1 a 5)		Económico (-3 a 3)		
Recolección (costo)	1 a 50	50	7	350	7	350	-3	-150	550
Recepción	1 a 50	50	7	350	7	350	-3	-150	550
Ingreso por venta	1 a 200	200	5	1000	6	1200	3	600	2800
Ahorro por la no adquisición	1 a 90	1	7	7	7	7	0	0	14
Puntos adicionales por mantener el producto íntegro	500 o 1000	1000	7	7000	5	5000	-3	-3000	9000
Reembalaje	1 a 30	1	7	7	7	7	0	0	14
Limpieza	1 a 30	25	3	75	2	50	3	75	200
Piezas a reemplazar	1 a 60	40	5	200	77	3080	3	120	3400
Reparación	1 a 80	80	5	400	7	560	3	240	1200
Desmontado	1 a 80	60	2	120	2	120	0	0	240
Costo a redirigirlo	1 a 90	1	7	7	7	7	0	0	14
Costo a eliminarlo	1 a 100	1	7	7	5	5	0	0	12
Máximo alcanzable	28050		9523		10736		-2265		17994
Valor porcentual con respecto a puntos máximos alcanzables									64,15%

Tabla 12. Matriz de ponderación del proyecto de logística inversa

Finalmente, a través de la matriz de ponderación al momento de efectuar dicho estudio se obtuvo una R con un valor de 64,15%, lo que conlleva a un resultado de R07, corroborando así el resultado obtenido por medio del diagrama de árbol.

CONCLUSIONES

Una vez realizado el análisis de los resultados para la elaboración de una planta productora de bioplástico a partir del bagazo de la caña de azúcar, se llegó a las siguientes conclusiones:

Un estudio de mercado en Caracas revela un mercado objetivo de 350.868 personas interesadas en adquirir productos a precios más altos. La demanda estimada para este mercado es de 14.393 bobinas al año, de las cuales el 10% apunta a 1.439 bobinas. La mayoría de la población (53,3%) conoce los bioplásticos, favoreciendo su introducción en el mercado. Se diseña una planta con un sistema de producción capaz de satisfacer la demanda, requiriendo maquinaria eficiente.

RECOMENDACIONES

De igual manera, con el fin de mejorar los futuros estudios, relacionados con la elaboración de bioplástico y utilización de celulosa a partir del bagazo de caña de azúcar se proponen las siguientes recomendaciones:

Indagar a profundidad el comportamiento de los venezolanos con respecto a sus prácticas eco-amigables.

REFERENCIAS

Cruz, E. (18 febrero, 2021). Plástico biodegradable destructivo Informe de investigación actualizado de I Mercado 2021. <http://gammaboxtech.com/plastico-biodegradable-destructivo-cuota-de-mercado-ultima-actualizacion/>

García, F. (2004). Distribución de planta. <http://webdelprofesor.ula.ve/economia/gsfran/Asignaturas/Produccion/DISTRIBUCIONdePLANT1.pdf>

García, M. (2004). Los elementos integrantes de la nueva riqueza de la empresa.

Intangible Capital. <https://www.redalyc.org/pdf/549/54900201.pdf>

Greenpeace. (2020). Plásticos en los océanos. http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/761/3/la_industria_del_plastico.pdf

Greenpeace. (2021). Datos sobre la producción de plásticos. <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>

Hernández, J.G., García, M.J., Hernández, G.J., De Burgos, J. (2011). Once Erres (11-Rs) en la Logística Inversa. (PDF) Once Erres (11-Rs) en la Logística Inversa (researchgate.net)

Infinitia (2021) Biodegradación de un producto: Análisis y normativa. <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/biodegradacion-de-un-producto-analisis-y-normativa/#:~:text=Los%20ensayos%20de%20biodegradaci%C3%B3n%20miden,de%20uso%20determinado%20o%20previsto.>

Martínez, G. (s.f.). El desarrollo sustentable. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5654255>

Montoyo, A. Marco, M. (2011). Tema 4: Proceso de producción. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19047/1/Tema_4_-_Proceso_de_produccion.pdf

Naranjo, E., Temprano, M. (2022). Elaboración de un bioplástico a base de bagazo de la caña de azúcar. [Tesis de grado, Universidad Metropolitana].

Noticias ONU. (2021). El uso exagerado del plástico durante la pandemia de COVID-19 afecta a los más vulnerables. <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490302#:~:text=Su%20aumento%20ha%20sido%20tal,zonas%20m%C3%A1s%20vulnerables%20del%20planeta>.

Resano, D., Guillen, O.W., Ubillús, F.D.R., Barranzuela, J.L. (2021). Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-076420220002_00247&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Saari, B. (s.f.) Uso de dma para caracterizar elastómeros, polímeros y aleaciones con memoria de forma. MTS. <https://www.mts.com/la/articles/materials/dma-characterization#:~:text=R%3A%20EI%20an%C3%A1lisis%20mec%C3%A1nico%20din%C3%A1mico,y%20medir%20la%20tensi%C3%B3n%20resultante>.

Rajaram, B. y Onpe, M. (2022) Análisis de Materiales para Garantía de Calidad y Degradación de Bioplásticos. <https://www.tainstruments.com/material-analysis-for-bioplastics-quality-assurance-and-degradation/?lang=es>

APÉNDICES

Apéndice 1. Diagrama de procesos.

Nro.	Actividad	Operación	Transporte	Revisión	Almacenamiento
1	Pesado de gandola en balanza romana	●	→	□	△
2	Depositado del bagazo en mesa alimentadora	●	→	□	△
3	Traslado del bagazo a area de recepción y revisión	○	→	□	△
4	Revisión del bagazo	○	→	■	△
5	Almacenamiento del bagazo	○	→	□	▲
6	Traslado del bagazo a hornos de secado	○	→	□	△
7	Secado	●	→	□	△
8	Triturado del bagazo	●	→	□	△
9	Pulverizado del bagazo	●	→	□	△
10	Tamizado	●	→	□	△
11	Traslado del bagazo tamizado a silos de almacenamiento	○	→	□	△
12	Almacenamiento del bagazo tamizado	○	→	□	▲
13	Extraccion de la celulosa	●	→	□	△
14	Tamizado	●	→	□	△
15	Lavado de fibra	●	→	□	△
16	Secado de fibra	●	→	□	△
17	Blanqueamiento	●	→	□	△
18	Secado	●	→	□	△
19	Pulverizado	●	→	□	△
20	Tamizado	●	→	□	△
21	Mezclado del aglutinante	●	→	□	△
22	Extrusión Y rebobinado de película	●	→	□	△
23	Traslado de la bobina al área de pruebas	○	→	□	△
24	Prueba de biodegradabilidad	●	→	□	△
25	Prueba de resistencia a ondas de microondas	●	→	□	△
26	Traslado de la bobina al almacén de producto semi-terminado	○	→	□	△
27	Almacenamiento de bobinas	○	→	□	▲
	Total	18	5	1	3

DEGRADACIÓN DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD POR *ASPERGILLUS NIGER*

Fecha de aceptación: 01/07/2024

Fátima Medina Mercado

Laboratorio de Micología Experimental
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis
Potosí, S.L.P.
San Luis Potosí, S.L.P., México

Adriana Rodríguez Pérez

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Centro de Investigación y Extensión de la
Zona Media. El Balandran
Cd. Fernández, San Luis Potosí
<https://orcid.org/0000-0002-6570-6579>

Juan Fernando Cárdenas González

Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
Centro de Investigación y Extensión de la
Zona Media. El Balandran
Cd. Fernández, San Luis Potosí
<https://orcid.org/0000-0002-3502-5959>

Claudia M. Martínez Rodríguez

Laboratorio de Micología Experimental
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis
Potosí, S.L.P.
San Luis Potosí, S.L.P., México
<https://orcid.org/0000-0002-5335-6137>

Ismael Acosta Rodríguez

Laboratorio de Micología Experimental
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis
Potosí, S.L.P.
San Luis Potosí, S.L.P., México
<https://orcid.org/0000-0001-8620-2727>

RESUMEN: En este trabajo, se analizó la capacidad de degradación de poliuretano de baja densidad por el hongo *Aspergillus niger*. En las condiciones analizadas, el hongo no degrada el sustrato, pues no se observa ninguna diferencia en el peso seco de los mismos, después del periodo de incubación, aunque se observa que si hay crecimiento del hongo (determinado por peso seco) aunque en muy baja proporción, mientras que también se observa la producción de proteína extracelular (determinada por la absorbancia a 750 nm), en muy baja cantidad, en las condiciones analizadas. Además, se analizó la producción de las enzimas lacasa y esterasa extracelulares, obteniendo una actividad de lacasa de 0.16 U/mL, y de esterasa de 0.09 U/mL, mientras que en el control sin sustrato no se observó actividad enzimática. En conclusión, el hongo no degrada el polietileno de baja

densidad, lo cual puede deberse a que no tiene esta capacidad, a que se requiere más tiempo de incubación o a que se necesitan otras condiciones de incubación y/u otros microorganismos.

PALABRAS CLAVE: Degradación, poliuretano, hongos, biorremediación

ABSTRACT: In this work, the degradation capacity of low-density polyurethane by the fungus *Aspergillus niger* was analyzed. Under the conditions analyzed, the fungus does not degrade the substratum, since no difference is observed in their dry weight after the incubation period, although it is observed that there is growth of the fungus (determined by dry weight) although in very low proportion, while the production of extracellular protein (determined by the absorbance at 750 nm) is also observed, in a very low quantity, under the conditions analyzed. In addition, the production of extracellular laccase and esterase enzymes was analyzed, obtaining a laccase activity of 0.16 U/mL, and a esterase activity of 0.09 U/mL, while in the control without substrate no enzymatic activity was observed. In conclusion, the fungus does not degrade low-density polyethylene, which may be because it does not have this capacity, because more incubation time is required, or because other incubation conditions and/or other microorganisms are needed.

KEYWORDS: Degradation, polyurethane, fungi, bioremediation

INTRODUCTION

Los plásticos son materiales poliméricos orgánicos; la mayoría elaborados con derivados del petróleo y en los últimos decenios han tenido una enorme difusión gracias a su versatilidad, durabilidad, estabilidad, resistencia a condiciones ambientales, bajo costo y múltiples posibilidades industriales. El polietileno (PE), es un plástico compuesto por monómeros de oleofinas, que conjuntamente con el cloruro de polivinilo son los plásticos de mayor uso en el Perú y en el mundo; se utilizan principalmente en la fabricación de rollos de plástico transparente para envolturas, películas, tuberías y botellas de bebidas gaseosas. Durante los últimos 30 años, la producción de plásticos ha crecido exponencialmente, al tiempo que ha aumentado la preocupación por el medio ambiente. Según los expertos, los residuos plásticos generados por el hombre tardan una media de 100 años en descomponerse (Martínez Arroyo et. al., 2020). Los productos elaborados con polietileno presentan dos tipos de problemas: el deterioro cuando están siendo utilizados y la contaminación ambiental posterior a su uso. En este último caso debido a sus características de resistencia, no son degradados por los microorganismos del suelo y permanecen visibles en el medio ambiente por tiempo indefinido (Mangiarotti et al., 1994), a ello se debe agregar la formación de dioxinas, toxinas que están asociadas a: cáncer, daño del sistema reproductor y trastornos en el desarrollo de los seres vivos (Klenchuk, 1989).

Por otro lado, se han reportado trabajos sobre degradación biológica de plásticos, y se considera que esta alternativa es importante desde el punto de vista de la salud humana, del medio ambiente y del factor económico, además es posible utilizar los subproductos

como fuente de energía. Eggins et al. (1971) señalan que el proceso más importante para degradar plásticos es aquel en que sus componentes son utilizados como fuente de carbono. Por otro lado, Lee et al. (1991) reportaron la degradación del polietileno por cepas de hongos y bacterias; y Pometto et al. (1992) lograron aislar una enzima fúngica capaz de degradar plásticos. Cuevas y Manaligod (1997) aislaron micromicetos del suelo capaces de degradar productos de polietileno y en 2001 Clutario y Cuevas demostraron que el micromiceto *Xylaria* sp. es capaz de colonizar el polietileno, la biodegradación de polietileno por *Bacillus subtilis* (Ortega y Acosta, 2021; Ortega Rojas et al., 2021), y dos cepas de *Alicyclophilus* sp., que degradan poliuretano (Oceguera Cervantes, et. al., 2007).

También se ha reportado, que diferentes hongos pueden degradar poliuretano de baja densidad, como el macromiceto *Pleurotus* sp., originario de los bosques brasileños, el cual es capaz de degradar nutrientes de polímeros sintéticos para convertirlos en materias orgánicas, por lo que este hongo surge como un posible mecanismo para reciclar los crecientes desechos mundiales de plástico que amenazan el medio ambiente ya que demoran siglos en degradarse naturalmente (Cuevas y 1997), así como *Fusarium solani* (Ortega y Acosta, 2021) y *A. niger* (Mathur et. al., 2011). Hasta ahora todas las formas de descartar el plástico, como la incineración, el depósito bajo suelo o su reciclaje, son contaminantes y arriesgadas para el medio ambiente, siendo la biodegradación por hongos una alternativa más ecológica. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar la capacidad del hongo *Aspergillus niger* para degradar poliuretano, para, posteriormente tratar de establecer su función en la degradación de desechos plásticos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Cepa utilizada

El hongo utilizado, *Aspergillus niger*, se obtuvo del cepario del Laboratorio de Micología Experimental del CIEP/FCQ/UASLP.

Estudios de degradación

El plástico utilizado fue obtenido de bolsas de plástico incoloro, comerciales y nuevas, recortando en cuadros de aproximadamente 1cm². Cada uno se pesó y se colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, con medio de Lee modificado (0.25% de fosfato monobásico de potasio, 0.2% de sulfato de magnesio, 0.5% de sulfato de amonio, 0.5% de cloruro de sodio y 0.25% de dextrosa y se afora a un litro con agua destilada. En estos experimentos, se sustituye la glucosa por el plástico como única fuente de carbono, y calibrado a 3 pH's diferentes (4.0, 5.3 y 7.0), y esterilizados a 15 libras de presión/20 min. Posteriormente, se sembraron 1 x 10⁶ esporas/mL del hongo, y se incubaron en un baño

con agitación constante, a 28°C, durante 11 semanas, tomando cada semana, 3 matraces a diferente pH, y se filtraron en papel filtro Whatman, No 1, previamente pesado; así mismo, se separaron y lavaron el plástico y el papel filtro con el hongo, y se secaron durante 12 horas a 60°C, para obtener el peso seco del plástico (para determinar si se reduce el peso inicial de éste) y del hongo (para determinar su crecimiento como peso seco, utilizando el plástico como única fuente de carbono), respectivamente. También, se determinó al filtrado del hongo, proteína por el método de Lowry.

Determinación del crecimiento del hongo por peso seco

Este parámetro se analizó inoculando 1×10^6 esporas/mL en matraces Erlenmeyer de 250 mL conteniendo 100 ml de medio mínimo de Lee modificado, conteniendo el plástico obtenido de bolsas de plástico incoloro, comerciales y nuevas, y recortado en cuadros de aproximadamente 1cm² como fuente de carbono, incubando a 28°C a 100 rpm durante 11 semanas. Después, se cosechó el sobrenadante por filtración en papel Whatmann No. 1, previamente tarado. El paquete celular se seco a 80°C, durante 12 h, y se peso el papel filtro, determinando por diferencia el peso seco de la muestra, comparando el crecimiento con un control crecido en las mismas condiciones sin la adición plástico y con glucosa como fuente de carbono. Todos los experimentos se realizaron mínimo 3 veces por duplicado.

Estudios de proteína

La cantidad de proteína se determinó por el método de Lowry (Lowry y col., 1951) utilizando albúmina de suero bovino como estándar.

Determinación de las actividades enzimáticas

Las actividades enzimáticas se determinaron espectrofotométricamente en el sobrenadante de los cultivos, obtenido de la filtración de las muestras.

Lacasa

La mezcla de reacción contenía 900 μ L de 2,6-dimetoxifenol 2 mM como sustrato (Sigma Chemical Company), en regulador de acetatos 0.1 M pH 4.5, y 100 μ L del extracto enzimático (sobrenadante), incubando a 40°C durante 1 minuto (Díaz et al., 2013), y determinando la actividad de lacasa como el cambio en la absorbancia a una longitud de onda de 568 nm en un Espectrofotómetro de luz UV-Visible (Shimadzu modelo 160-A), usando como referencia un blanco preparado con agua tridesionizada de acuerdo al procedimiento anterior. Una unidad de actividad de lacasa se definió como la cantidad de enzima que produce un incremento de una unidad de absorbancia por minuto en la mezcla de reacción (Córdoba-Sosa et al., 2014). Los resultados se expresan como el promedio de 3 determinaciones independientes.

Esterasa

La mezcla de reacción contenía 10 μL de p-nitrofenilbutirato [1.76% (v/v)] (Sigma Chemical Company) en acetonitrilo, 790 μL de regulador de acetatos 50 mM pH 7.0, Triton X-100 0.04% (v/v) y 100 μL del extracto enzimático (sobrenadante), incubando a 37°C durante 5 minutos (Alves-Macedo & Fontes-Pio, 2005), y determinando la actividad de esterasa como el cambio en la absorbancia a una longitud de onda de 405 nm en un Espectrofotómetro de luz UV-Visible (Shimadzu modelo 160-A), usando como referencia un blanco preparado con agua tridesionizada de acuerdo al procedimiento anterior. Una unidad de actividad de esterasa se definió como la cantidad de enzima que produce un incremento de una unidad de absorbancia por minuto en la mezcla de reacción (Córdoba-Sosa et al., 2014). Los resultados se expresan como el promedio de 3 determinaciones independientes.

RESULTADOS

En las condiciones analizadas, el hongo no degrada el polietileno de baja densidad, pues no se observa ninguna diferencia en el peso seco de los mismos (Tabla No. 1), aunque se observa que si hay crecimiento del hongo (determinado por peso seco) aunque en muy baja proporción (Tabla No. 2), mientras que también se observa la producción de proteína (determinada por la absorbancia a 750 nm), también en muy baja cantidad, (Tabla No. 3), además de poca actividad de lacasa (0.16 U/mL) y esterasa (0.09 U/mL) extracelulares (Tabla No. 4), mientras que los controles sin el sustrato no produjeron actividad enzimática.

Pesos iniciales de los plásticos			Pesos finales de los plásticos		
Número de plástico	Peso inicial	Peso final	Número de plástico	Peso inicial	Peso final
1	0.019	0.019	15	0.012	0.012
2	0.02	0.021	16	0.015	0.015
3	0.014	0.015	17	0.01	0.01
4	0.017	0.017	18	0.014	0.014
5	0.014	0.013	19	0.017	0.017
6	0.018	0.019	20	0.012	0.014
7	0.017	0.018	21	0.017	0.017
8	0.016	0.016	22	0.01	0.01
9	0.012	0.013	23	0.016	0.016
10	0.018	0.022	24	0.014	0.014
**11	0.011	0.011	25	0.013	0.014
**12	0.016	0.018	26	0.011	0.011
13	0.015	0.015	27	0.016	0.017
14	0.013	0.013	28	0.023	0.035
			*29	-	-

pH 4.0	**Glucosa
pH 5.3	*Sin Glucosa
pH 7.0	

Tabla No. 1.- Determinación del peso seco de los plásticos

Número de papel filtro	Peso inicial	Peso final	Diferencia de pesos	Diferencia de pesos	Número de papel filtro	Peso inicial	Peso final	Diferencia de pesos
1	1.234	1.24	0.006	0.006	15	0.965	0.971	0.006
2	1.096	1.135	0.039	0.039	16	1.476	1.465	-0.011
3	0.922	0.926	0.004	0.004	17	1.229	1.215	-0.014
4	1.445	1.453	0.008	0.008	18	0.914	0.915	0.001
5	1.186	1.191	0.005	0.005	19	0.785	0.782	-0.003
6	0.917	0.928	0.011	0.011	20	1.251	1.218	-0.033
7	0.737	0.746	0.009	0.009	21	1.261	1.228	-0.033
8	1.188	1.169	-0.019	0	22	1.19	1.204	0.014
9	0.958	0.941	-0.017	0	23	1.009	1.004	-0.005
10	1.016	0.993	-0.023	0	24	1.433	1.408	-0.025
**11	1.067	1.116	0.049	0.049	25	1.128	1.103	-0.025
**12	1.244	1.297	0.053	0.053	26	1.203	1.185	-0.018
13	1.147	1.133	-0.014	0	27	0.771	0.77	-0.001
14	1.148	1.178	0.03	0.03	28	1.262	1.225	-0.037
					*29	0.964	0.942	-0.022

pH 4.0	**Glucosa
pH 5.3	*Sin Glucosa
pH 7.0	

Tabla No. 2.- Crecimiento por peso seco del hongo en presencia de plástico como fuente de carbono

Número de papel filtro	Absorbancia 1	Absorbancia 2	Número de papel filtro	Absorbancia 1	Absorbancia 2
1	0.003	0.007	15	0.014	0.018
2	0.005	0.003	16	0.004	0.003
3	0.013	0.009	17	0.009	0.020
4	0.011	0.013	18	0.010	0.007
5	0.027	0.025	19	0.005	0.001
6	0.002	0.007	20	0.023	0.014
7	0.007	0.002	21	0.011	0.014
8	0.016	0.023	22	0.034	0.025
9	0.014	0.013	23	0.009	0.034
10	0.014	0.015	24	0.008	0.008
**11	0.081	0.060	25	0.007	0.003
**12	0.140	0.104	26	0.013	0.010
13	0.012	0.008	27	0.013	0.005
14	0.007	0.040	28	0.025	0.022
			*29	0.018	0.029

pH 4.0	**Glucosa
pH 5.3	*Sin Glucosa
pH 7.0	

Tabla No. 3.- Determinación de proteína extracelular por absorbancia a 750 nm, de los cultivos del hongo.

Control Lacasa	0.00
Problema Lacasa	0.16
Control Esterasa	0.00
Problema Esterasa	0.09

Actividad enzimática

(U/mL)*

*Promedio de las muestras analizadas

Tabla No. 4.- Producción de y esterasa extracelulares por *A. niger*. 28oC. 11 semanas de incubación. Condiciones estáticas (1 x 10⁶ células/mL). (1, 2 y 3.- Problemas y 4.- Control).

CONCLUSIONES

En las condiciones analizadas, el hongo no degrada el polietileno de baja densidad, lo cual puede deberse a que no tiene esta capacidad, a que se requiere más tiempo de incubación o a que se necesitan otras condiciones de incubación y/u otros microorganismos, aunque si hay crecimiento del hongo, producción de proteína extracelular y actividad de enzimas extracelulares.

REFERENCIAS

Alves-Macedo, G. and Fontes-Pio, T. 2005. A rapid screening method for cutinase producing microorganisms. *Brazilian Journal of Microbiology*, 36, 388–394. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822005000400016>.

Clutario M. T and Cuevas V. C. 2001. Colonization of Plastics by *Xylaria* sp. *Philippine Journal of Science*. Vol. 130, No. 2, pp 13-18.

Córdoba-Sosa, G., Torres, J.L., Ahuactzin-Pérez, M., Díaz-Godínez, G., Díaz, R., and Sánchez, C. 2014. Growth of *Pleurotus ostreatus* ATCC 3526 in different concentrations of di(2-ethylhexyl) phthalate in submerged fermentation. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 4 (5), 96–103. ISSN: 2249-1929.

Cuevas V. C. and Manaligod R. C. 1997. Isolation of decomposer fungi with plastic degrading ability. *Philippine Journal of Science* 126: pp 117-130.

Díaz, R., Téllez-Téllez, M., Bibbins-Martínez, M.D., Sánchez, C., Díaz-Godínez, G. & Soriano-Santos, J. (2013). Influence of initial pH of the growing medium on the activity, production and expression profiles of laccases produced by *Pleurotus ostreatus* in submerged fermentation. *Electronical Journal of Biotechnology*, 16, 1–13. <http://dx.doi.org/10.2225/vol16-issue4-fulltext-6>

Eggs H. O. W., Mills J., Holt A. and Scott G. 1971. Biodegradation and biodegradation of Synthesis polymers, 267-279. IM. Syker G. & Skinner F. A. (Editors). *Microbial Aspects of pollution*. The Society for applied bacteriology. Symposium series N° 1. Academic Press, London New York.

Klenchuk P.P. 1989. Degradability II Chemistry of Plastics costs a negative vote. *Plastics International*. September: pp. 82-85.

Lee B., Pometto III A. L., Fratzke A. and Bailey J. R. 1991. Biodegradation of degradable plastic Polyethylene by *Phanaerochaete* and *Streptomyces* Species. Applied and Environmental Microbiology. 57: pp 678-685.

Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Far, A.L. and Randall, R.J. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. J. Biol. Chem. 193. pp. 265-275.

Mangiarotti A.M., Caretta G., Nelli, E. and Piotelli, E. 1994. Biodeterioro de materiales plásticos por Microhongos. Boletín Micológico. Vol. 9 (1-2): 39-47.

Martínez Arroyo, M.A., Ruíz Suarez, L.G., Gavilán García, A., Mendoza Cantú, A. & Ramírez Muñoz, T. 2020. Panorama General de las Tecnologías del Reciclaje de plásticos en México y en el Mundo. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [https:// biblioteca.semarnat.gob.mx](https://biblioteca.semarnat.gob.mx).

Mathur, G., Mathur, A., Ramasare, P. 2011. Colonization and Degradation of Thermally Oxidized High-Density Polyethylene by *Aspergillus niger* (ITCC No. 6052) Isolated from Plastic Waste Dumpsite. Bioremediation Journal, 15:(2), 69-76. DOI: 10.1080/10889868.2011.570281

Oceguera-Cervantes, J.A., Carrillo-García, A., López, N., Bolaños-Nuñez, S., Cruz-Gómez, C.W. and Loza-Tavera, H. 2007. Characterization of polyurethanolytic activity of two *Alicyclophilus* sp., Methylpyrrolidone Able To Degrade Polyurethane and N-Methylpyrrolidone. Applied and Environmental Microbiology. 73(19): 6214. DOI: 10.1128/AEM.01230-07.

Ortega, R.I. y Acosta, I. 2021. Degradación de polietileno de baja densidad por *Fusarium solani*. Avances en Ciencias e Ingeniería. 12:(2), 13-31. ISSN: 0718-8706.

Ortega Reyes, R.I. and Acosta Rodríguez, I. 2021. Low density polyethylene biodegradation by *Bacillus subtilis*. Journal of Multidisciplinary and Environmental Science and Technology. (JMEST). Vol. 8, No. 5, pp. 14031-14039. 13842-13847. May 30. ISSN: 2458-9403. JMESTN42353731. www.jmest.org

Ortega Rojas, I., Rodríguez Pérez, A., Cárdenas González, J.F., Martínez Juárez, V.M., Enríquez Domínguez, E., Tovar Oviedo, J. y Acosta Rodríguez, I. 2021. Biodegradation Capacity and Activity Enzymatic of *Bacillus subtilis* against Low-Density Polyethylene. Asian Journal of Research in Biochemistry. 9(3): 9-22 DOI: 10.9734/ajrb/2021/v9i330201. Published: 24 November 2021. ISSN: 2582-0516.

Pometto III A.L., Lee B. and Johnson K. 1992. Production of an extracellular Polyethylene degrading Enzyme (s) by *Streptomyces* Species. Applied and Environmental Microbiology. 58: pp. 731-733.

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA: Técnico en Química del Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Licenciatura en Química de la Universidad Federal de Uberlândia (2010), Licenciatura (2011) y Licenciatura en Química Industrial (2023) de la Universidad de Uberaba (UNIUBE), en Ciencias Biológicas (2021) y Física (2022) de la Faculdade Única de Ipatinga (FUNIP). Especialista en Metodología de la Enseñanza de la Química y Educación Superior de la Faculdade JK Serrana de Brasília (2012), especialista en Enseñanza de Ciencias y Matemáticas del Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021), especialista en Ciencias Naturales y Mercado Laboral (2022) de la Universidad Federal de Piauí (UFPI) y especialista en Química Analítica de la Facultad Metropolitana del Estado de São Paulo (FAMEESP) en 2024. Maestría (2015) y Doctorado (2018) en Química Analítica de la Universidad Federal de Uberlândia (UFU). Realizó la primera pasantía Postdoctoral (de mayo de 2020 a abril de 2022) y realizó la segunda pasantía (2022-2024) en la UFU con énfasis en la aplicación de nuevos agentes oxidantes utilizando radiación solar para eliminar Contaminantes de Preocupación Emergente (CPE) en efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales. Se desempeñó como técnico de laboratorio/Química en el Instituto Federal de Goiás (2010-2022), químico y técnico responsable de los laboratorios de Unicesumar/Polo Patrocínio y profesor del SENAI de Minas Gerais y Goiás. Actualmente es profesor de química en el Instituto Federal de Goiás. Colégio Militar do Tocantins en Araguaína/TO. Trabajando en las siguientes líneas de investigación: (i) Desarrollo de nuevas metodologías para el tratamiento y valorización de residuos químicos generados en laboratorios de instituciones de enseñanza e investigación; (ii) estudios de seguimiento del CPE; (iii) Desarrollo de nuevas tecnologías avanzadas para la eliminación de CPE en diferentes matrices acuáticas; (iv) Aplicación de procesos oxidativos avanzados (H_2O_2/UV , C , $TiO_2/UV-A$ y foto-Fenton y otros) para eliminar CPE en efluentes de plantas de tratamiento de efluentes para su reutilización; (v) Estudio y desarrollo de nuevos bioadsorbentes para la remediación ambiental de CPE en diferentes matrices acuáticas; (vi) Educación Ambiental y; (vii) alfabetización científica y procesos de alfabetización en el área de las Ciencias Naturales, especialmente biología y química. Es miembro del consejo editorial de Atena Editora desde 2021 y ya ha organizado más de 80 libros electrónicos y publicado 42 capítulos de libros en las diferentes áreas de Ciencias Naturales, Ingeniería Química y Sanitaria/Ambiental, Medio Ambiente, entre otras áreas afines. .

A

- Ambiente del aprendizaje 2
- Android* 1, 2, 4, 9, 10
- Antimicrobiana 98
- Antioxidante 98
- Arcillas 96, 97, 104, 108, 109, 115

B

- Bagazo 119, 120, 121, 128, 130, 131, 132, 134, 136, 138, 140, 141, 142, 143, 144
- Biobasados 91, 95
- Biodegradabilidad 90, 95, 96, 121, 133
- Biodegradables 89, 90, 91, 95, 101
- Biomateriales 90, 100
- Bionanocompuestos 97
- Bioplásticos 90, 119, 122, 123, 127, 143, 144
- Biopolímeros 89, 90, 91, 93
- Biosensores 90
- Bisfenol-A 84

C

- Caña de azúcar 119, 120, 141, 142, 143, 144
- Celulosa 96, 98, 111, 119, 131, 132, 134, 136, 137, 143
- Compuesto 2, 85, 96, 104, 108, 111, 131, 134, 146
- Construcción 12, 14, 15, 16, 17, 19, 29, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 52, 55, 65, 68, 81, 82, 87, 114, 144
- Consumo de alimentos 89
- Contralaminada 54, 55, 64
- Control de proyectos 32, 35, 37, 52

D

- Deformación 54, 60, 134
- Difracción de Rayos X (DRX) 10
- Diseño sísmico 54, 64
- Dispositivos móviles 2, 9, 10
- Ductilidad 57, 58, 60, 87

E

- Ecológicamente sustentable 55
- Ecuación de Scherrer 155
- Edificios híbridos 54, 64
- Empaque de alimentos 89, 94, 95, 97, 98
- Erosión del suelo 65
- Esguimientos superficiales 65, 67, 68
- Espectrograma 3, 5, 7, 8

F

- Factor R 54
- Fórmula SAE 11, 12, 13, 21, 26, 27, 28, 29

G

- Gases tóxicos 103, 104, 114
- Gestión de proyectos 11, 33

H

- Herramientas computacionales 32, 34, 47
- Hormigón armado 54, 55, 57, 63, 64
- Huella de carbono 55

I

- Impacto ambiental 66, 97, 104, 119, 120
- Implementación 26, 29, 46, 48, 68, 120
- Industria alimentaria 89, 95, 96, 99, 100, 101
- Industria automotriz 83, 87, 103, 104, 113, 115

L

- Lean Manufacturing* 11, 12, 26, 27, 28, 29
- Logística inversa 121, 140, 141, 142, 143

M

- Madera laminada 54, 55
- Matrices poliméricas 90, 91, 97, 98, 104
- Medidas estructurales 68, 82
- Medio ambiente 82, 89, 90, 95, 96, 97, 100, 111, 114, 120, 127, 133, 146, 147, 152, 153

Mezclas poliméricas 93, 94, 95, 98
 Microcuencas 65, 69, 70, 74, 75, 76, 77, 78, 81
 Microorganismos 90, 91, 96, 146, 151
 Montmorillonita 96, 97, 98, 108

N

Nanocompuestos 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 107, 108, 109, 111, 112, 114, 115
 Nanocristales 1, 2, 7, 8, 9, 10
 Nanofibras 91, 96
 Nanomateriales 2, 90, 91, 92, 94, 95, 100, 101, 103, 104, 107, 108, 111, 112, 114, 115
 Nanotecnología 1, 90, 91, 94, 95, 100, 101, 104
 Nanotubos de carbono 91, 96, 98, 110

O

Ordenación hidrológica 66

P

Planeación 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 47, 52
 Planificación 11, 13, 15, 19, 21, 23, 29, 31
 Plásticos 83, 85, 90, 91, 95, 96, 97, 99, 100, 109, 113, 118, 119, 120, 121, 133, 143, 146, 147, 149, 152
 PMBOK 11
 Policarbonato (PC) 83, 84, 85, 86, 87, 108
 Policloruro de vinilo (PVC) 83
 Poliestireno (PS) 83, 90, 111
 Polietileno (PE) 83, 90, 111, 145, 146, 147, 149, 151, 152
 Polímeros 83, 84, 87, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 100, 101, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 113, 114, 115, 118, 132, 144, 147
 Polímeros de especialidad 83, 84
 Polímeros de ingeniería 83, 84
 Polipropileno (PP) 83, 90, 99, 108
 Proceso de enseñanza 2
 Propiedades antimicrobianas 90, 94
 Propiedades sinérgicas 93
 Propiedades térmicas 103, 108, 111, 115

Prototipo 11, 12, 14, 16, 19, 20, 21, 27, 28, 33, 52

Provincia de Salta 65, 82

PyMES 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 43, 46, 47, 52

Q

Quitosano 98, 99

R

Reciclables 90

Represas de detención 65, 66, 68

Residuo 119

Resistencia térmica 87, 96, 111

Respuesta sísmica 54, 55, 57, 60, 63

Retardantes de flama 87, 104, 107, 108, 109, 113

Reutilizados 120

S

Sector agroindustrial 119

Software 26, 29, 32, 34, 47, 48, 52, 53, 82, 140

T

Tecnologías de la información 2

Transición vítrea 85, 86, 87

Transparencia óptica 87

V

Valle de Lerma 65, 66, 67, 68, 71, 72


Videojuegos 2

INGENIERÍAS EN PERSPECTIVA

ciencia, tecnología e innovación

2

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

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

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

INGENIERÍAS EN PERSPECTIVA

ciencia, tecnología e innovación

2

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

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

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br