



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO INGENIERÍA QUÍMICA.

UTILIZACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA FÁBRICA DE BALDOSAS EN LA
PRODUCCIÓN DE PINTURA



Autor:

Anelay González Hernández

Cienfuegos, 2020



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO INGENIERÍA QUÍMICA.

UTILIZACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA FÁBRICA DE BALDOSAS EN LA
PRODUCCIÓN DE PINTURA

Autor:

Anelay González Hernández

Tutor:

DrC. Fernando Efren Ramos Miranda

Colaborador:

Ing. Magalys López Ferreiro

Cienfuegos, 2020

PENSAMIENTO

Deja que el futuro diga la verdad y evalúe a cada uno según su trabajo y logros. El presente es de ellos, el futuro, por el que realmente he trabajado, es mío.

Nikola Tesla

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mis padres y hermano por ser los pilares que me incitaron a estudiar una Carrera Universitaria, apoyándome y motivándome siempre a continuar, a pesar de los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTOS

A mis tutores, por su amistad y apoyo en esta difícil tarea.

A todos los trabajadores de la Empresa de Materiales de la Construcción, en especial a la Ing. Magalys López Ferreiro por su ayuda y orientación.

A mis compañeros de aula, amigos en especial a Leodan y Danarys por la dicha de haber compartido la universidad con ustedes, apoyándonos mutuamente para llegar hasta el final.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como propósito el aprovechamiento de los residuos de la Fábrica de Baldosas de Cienfuegos en la obtención de pinturas económicas de gran demanda en la población. Como métodos principales se utilizaron el Análisis Multicriterio (Método Delphi y el Diseño de Experimentos) en una variante novedosa. Los resultados que se obtuvieron luego de caracterizar todas las muestras fueron la viabilidad de una pintura que presenta buenas características excepto en la adherencia, aspecto que se propone retomar en otra investigación. La Metodología aplicada aseguró suficiente variabilidad en el diseño, repetitividad de los experimentos, consistencia de los resultados y validez de las conclusiones. La propuesta de producción de pintura económica tiene suficientes implicaciones económicas, medioambientales y sociales para considerarla significativamente sostenible.

SUMMARY

The purpose of this work was to take advantage of the residues of the Fábrica de Baldosas de Cienfuegos in obtaining economic paints that are in great demand in the population. The main methods used were Multicriteria Analysis (Delphi Method and Design of Experiments) in a novel variant. The results obtained after characterizing all the samples were the viability of a paint that has good characteristics except for adherence, an aspect that is proposed to be taken up in another investigation. The applied methodology ensured sufficient variability in the design, repeatability of the experiments, consistency of the results and validity of the conclusions. The economic paint production proposal has enough economic, environmental and social implications to consider it significantly sustainable.

ÍNDICE

Índice

RESUMEN	VIII
SUMMARY	IX
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: Fundamentos teóricos que fundamentan la investigación.....	5
1.1 Residuos industriales: conceptos, impactos y minimización de residuos.....	5
1.1.1 Impacto medioambiental generado por los residuos.....	7
1.1.2 Mecanismos para la minimización de residuos industriales	8
1.1.3 Beneficios de una adecuada gestión de residuos	10
1.2 Pinturas	11
1.2.1 Clasificación de las pinturas: formulaciones y usos	11
1.3 Pintura cementosa	20
1.4 Modelo multicriterio	11
1.4.1 Métodos para la selección de criterios.....	24
1.4.2 Método Delphi	25
1.5 Diseño de experimentos.....	27
1.5.1 Diseño de experimentos de mezcla: clases de diseños de mezclas y modelos.....	28
1.6 Conclusiones parciales.....	31
CAPÍTULO I I.....	33
CAPÍTULO I I: Metodología experimental y resumen del diagnóstico	34
2.1 Introducción al capítulo	34
2.2 Resumen del Diagnóstico de la Fábrica de Baldosas	36
2.2.1 Objeto social.....	36
2.3 Producción de pintura utilizando lodos residuales.	37
2.3.1 Variables del Proceso.....	38

2.3.1.1	Variables Independientes.....	38
2.3.1.2	Variables Dependientes.	38
2.4	Recursos y materiales utilizados.....	39
2.4.1	Método de formulación.	39
2.4.2	Método de obtención de la pintura.	40
2.5	Criterio de expertos	42
2.5.1	Selección del equipo de trabajo (expertos).....	42
2.5.2	Elaboración de la matriz de rangos con los criterios de los expertos a partir de la recolección de la información obtenida de las opiniones de cada experto.....	42
2.5.3	Nivel de concordancia.	42
2.5.4	Validación del criterio de expertos.....	42
2.5.5	Método Delphi.....	42
2.6	Análisis de varianza (ANOVA).....	46
2.6.1	Tipos de ANOVA.....	48
2.6.2	Características y supuestos	49
2.7	Coclusiones parciales	51
CAPÍTULO III		52
CAPÍTULO III. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS		53
3.1	Introducción al capítulo.....	53
3.1.1	Selección de los expertos y criterios	53
3.2	Consideraciones ambientales.....	53
3.2.1	Consideraciones sociales	53
3.2.2	Consideraciones económicas.....	53
Conclusiones.....		61
Recomendaciones		62

Bibliografía.....	63
Anexos.....	68

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El hombre desde comienzos de la revolución industrial, ha ido perfeccionando sus conocimientos técnicos de acuerdo a sus necesidades económicas y sociales, llegando a ser capaz de diseñar y crear bienes y servicios que facilitan su adaptación al medio ambiente y satisfacer tanto las necesidades esenciales como los deseos de la humanidad. Sin embargo, tales avances requieren de una elevada apropiación y explotación de recursos naturales, provocando el agotamiento parcial y/o total de los mismos. De igual forma, surgen nuevas circunstancias dentro del contexto; la generación de residuos industriales, consecuentes en gran parte del potente impacto ambiental que se aprecia en la actualidad.

Los residuos industriales son productos de desechos obtenidos a partir de un proceso de transformación o fabricación, dentro del cual no alcanzan ningún valor económico, por lo que son emitidos y/o vertidos hacia el medio ambiente, provocando fuertes impactos sobre el mismo y la salud humana.

Debido a tales efectos, la sociedad humana ha desarrollado una conciencia ambiental, que ha llevado al hombre a la formulación de medidas para mitigar estos residuos. Como alternativas fundamentales el hombre ha trabajado sobre la concepción de las 3R (reducir, reutilizar y reciclar). Reducir: la finalidad de esta primer “R” es disminuir el gasto de materias primas, agua y bienes de consumo, así como el aporte de CO₂ a la atmósfera y el consumo de energía. La reducción puede realizarse en dos diferentes niveles: (1) Reducción del consumo de bienes o productos (2) Reducción del consumo de energía Reutilizar: esta “R” hace referencia a alargar la vida útil de un producto, de manera que antes de deshacerse de él y sustituirlo por un nuevo producto, se repare o se le de otro uso antes de finalizar su vida útil. Un ejemplo de esto es el valor agregado y transformación artesanal que se le da a llantas y piezas metálicas en desuso. Reciclar: el reciclaje consiste en la transformación de los residuos por medio de distintos procesos de valorización que permiten restituir su valor económico y energético, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución implique un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud y el ambiente (Bonilla, N, 2018).

La Fábrica de Baldosas pertenecientes a la UEB Hormigón, consiste en la fabricación de baldosas bicapas fundamentalmente y como producción secundaria se obtienen volúmenes de rodapiés. Durante el proceso de pulido de la baldosa se obtiene un volumen de $\frac{1}{2} \text{ m}^3$ de lodo residual por cada 250 m^2 de baldosas pulidas, que en estos momentos constituyen el principal desecho sólido que se genera en la fábrica y no se le da ningún uso, por lo que son vertidos al medio natural provocando afectaciones al medio; estos lodos pueden ser usados en la propia industria y en otras instituciones para diferentes propósitos constructivos (Valladares, R, 2019).

Estos residuos están constituidos por polvo de piedra, carbonato de calcio y arena, presentando características especiales que podrían ser utilizadas para la formulación de pinturas.

Las pinturas son mezclas líquidas, que aplicadas por extensión, pulverización o inmersión sobre la superficie de un objeto o material, forma una capa o película que brinda propiedades decorativas y de protección. Están compuestas por un vehículo, quien a su vez está constituido por un aglutinante y un disolvente, también necesitan de la adición de un pigmento y las cargas o fillers; pueden además llevar secativos y aditivos. Las pinturas de acuerdo a su composición pueden clasificarse en pinturas al agua, pinturas al aceite, pinturas de resinas y pinturas especiales; dentro de cada una de estas clasificaciones se encuentran un subgrupo de pinturas, como las pinturas cementosas, objeto de estudio para la investigación.

La metodología empleada parte del Análisis Multicriterio, específicamente del Método Delphi y del Diseño de Experimentos, de forma tal que convenientemente se utilizó el Diseño de Experimentos para encontrar cómo un grupo de variables seleccionadas podían influir en la calidad de la pintura (variables de salida).

Atendiendo a las propiedades de los residuos de la Fábrica de Baldosas, antes mencionadas, se tiene como objeto de estudio de la investigación: La obtención de pinturas económicas a partir de los residuos sólidos de la Fábrica de Baldosas de Cienfuegos.

Problema de investigación

Hasta el momento los residuos del proceso de producción de la Fábrica de Baldosas son vertidos al medio ambiente provocando daños medioambientales y sociales en la zona.

Hipótesis

Si se obtiene una formulación adecuada a partir de los residuos sólidos de la Fábrica de Baldosas y otros elementos, se minimizarán las afectaciones ambientales y sociales alcanzándose un nuevo valor agregado para la fábrica.

Objetivo general

Diseñar una formulación para obtener las condiciones más adecuadas para la producción de una pintura económica a partir de los residuos de la producción de la Fábrica de Baldosas.

Objetivos específicos

1. Establecer los fundamentos científicos que sustentan la investigación.
2. Identificar y describir la influencia de las principales variables que determinan una formulación adecuada de pinturas.
3. Determinar qué variables de calidad presentan adecuados resultados y cuáles no.
4. Considerar implicaciones medioambientales, económicas y sociales.

CAPÍTULO I

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS QUE FUNDAMENTAN LA INVESTIGACION

Generalidades sobre las materias primas para la obtención de pinturas y los métodos de investigación

1.1 Residuos industriales: conceptos, impactos y minimización de residuos.

Los residuos industriales son aquellos productos de desechos que no alcanzan ningún valor económico en el contexto que son producidos: dígase procesos de fabricación, consumo, transformación, de utilización, limpieza o de mantenimiento, dentro del proceso industrial, debido tanto a la falta de tecnología adecuada para su aprovechamiento como a la inexistencia de un mercado para los productos recuperados.

Los desechos de las industrias se clasifican habitualmente como desechos líquidos, desechos sólidos o contaminantes del aire, y a menudo los tres son manejados por diferentes personas o departamentos. Las tres categorías separadas están reguladas por cuerpos de leyes y reglamentos separados y distintos, e históricamente, el énfasis público y gubernamental ha pasado de una categoría a otra de un período de tiempo a otro. Sin embargo, el hecho es que las tres categorías de desechos están estrechamente relacionadas entre sí, ya que impactan en el medio ambiente y son generadas y gestionadas por instalaciones industriales individuales (Woodard, F, 2001).

Es importante la necesidad de identificación de esos desechos, así como lograr predecir sus posibles comportamientos y aplicaciones, para evitar su acumulación y degradación, como la formación de grandes volúmenes de desechos residuales, generando costos extras y pérdida de valor, de aquí la necesidad de clasificar la sustancia en estudio. Una primera clasificación atendiendo a su naturaleza química lo separa en dos grandes grupos: los residuos orgánicos y los residuos inorgánicos.

Residuo orgánico: todo desecho de origen biológico, que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo, por ejemplo: hojas, ramas, cáscaras y residuos de la fabricación de alimentos en el hogar, etc.

Residuo inorgánico: todo desecho de origen no biológico, de origen industrial o de algún otro proceso no natural, por ejemplo: plástico, telas sintéticas, etc.

Comerciales: Son aquellos residuos, que hay próximos a tiendas y mercados, que han sido utilizados por las industrias o el comercio para la tarea de distribución transporte de artículo.

Agrícolas y forestales: Los residuos de estos tipos son los restos de las cosechas o las ramas de los árboles que quedan tras la poda o la tala.

Ganaderos: Son residuos procedentes de animales, como el estiércol, se trata de un excelente alimento para la tierra, por lo que se deposita en los campos de cultivo para mejorar la cosecha.

Industriales: En las industrias se generan cenizas, gases tóxicos, sustancias químicas de desecho, cartón, plásticos, vidrio, madera o escombros. Cada industria, crea un tipo de residuos, pero para no contaminar el suelo, el agua o el aire, es aconsejable que generen la menor cantidad posible.

Industriales sólidos Inertes: Residuos que no presentan grandes efectos sobre el medio ambiente, debido a que su composición de elementos contaminantes es mínima. Estos residuos presentan nula capacidad de combustión, no tienen reactividad química y no migran del punto de disposición. Ejemplos: escombros, baldosas, etc.

Industriales sólidos peligrosos: Son aquellos materiales sólidos, pastosos, líquidos, así como los gaseosos contenidos en recipientes, que luego de un proceso de producción, transformación, utilización o consumo, su propietario destina a su recuperación o al abandono.

Algunos residuos industriales son tóxicos y peligrosos, por ejemplo, los residuos radiactivos, generados en laboratorios, hospitales y en centrales nucleares. Otros residuos peligrosos son algunos metales tóxicos producidos en las minas, que pueden alterar la salud de las personas o dañar el medio ambiente. Por ello, es necesario extremar las precauciones al transportarlos y al eliminarlos.

Muchas normativas y legislaciones dado la complejidad y volúmenes de varios insumos industriales aplican el concepto de la totalidad: todo lo que sale de una industria es o un producto o un residuo industrial.

En la industria de la construcción se pueden aprovechar grandes cantidades de residuos industriales como materia prima para la elaboración de otros materiales que contribuyan a impulsar un mercado con gran potencial. Para que los productos reciclados encuentren su mercado como un sustituto para las materias primas es necesario que satisfagan las exigencias técnicas y sean económicamente competitivos (Quevedo, Y, 2017).

En la Fábrica de Baldosas, el residuo que se obtiene en el proceso de pulido de las baldosas bicapas, se encuentra en la categoría de los industriales sólidos inertes, debido a que su composición de elementos contaminantes es mínima, pues los elementos que los componen, presentan nula capacidad de combustión, no tienen reactividad química.

1.1.1 Impacto medioambiental generado por los residuos

El desarrollo tecnológico industrial ha evolucionado grandemente con el paso de los años, con la finalidad de transformar el entorno humano, para adaptarlo mejor a las necesidades y deseos humanos. En ese proceso se usan recursos naturales (terreno, aire, agua, materiales, fuentes de energía...) y personas que proveen la información, mano de obra y mercado para las actividades tecnológicas. Tales avances han provocado una elevada generación de residuos industriales los cuales son emitidos y vertidos: al aire, agua y suelos respectivamente; provocando potenciales impactos ambientales sobre los recursos naturales y a la salud humana.

Actualmente el mundo genera anualmente alrededor de 1,3 billones de toneladas de residuos sólidos incluyendo los industriales, comerciales, residenciales, institucionales, municipales y se espera que se incremente a aproximadamente 2,2 billones de toneladas por año hacia el 2025. Por otra parte, las aguas residuales son consideradas también un problema global, con experiencias diversas como en África y Asia donde constituyen la causa de muchas enfermedades o en China y Europa donde la eutrofización ya es evidente. Según un reporte realizado por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (2014) se estima que en el 2010 el sector de residuos sólidos y aguas residuales aportó aproximadamente el 3 % de las emisiones globales de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), con la mayor contribución por emisiones de metano (CH₄) en los rellenos sanitarios, que representa la mayor fuente antropogénica y un importante contribuyente al calentamiento global.

Como en nuestros días la mayor parte de la economía se ha movido desde la agricultura hacia el sector industrial es evidente que gran parte de los impactos ambientales debido a factores antropogénicos estén dados por estas actividades. Estos se atribuyen a diversos factores entre los más importantes el consumo significativo de recursos naturales para la producción y a lo largo de la cadena de suministro, los efectos ecológicos de los productos y la contaminación por las descargas de residuos hacia el medioambiente. Sin embargo, en este punto se da un caso curioso y es la percepción en sí misma de residuos pues, aunque tradicionalmente se definen como aquellas sustancias, objetos y productos que ya no poseen valor para el usuario en términos de su propósito original su definición como no deseados es relativa y depende del usuario pues el residuo de una persona puede ser un material útil para otra. Esta característica permite la recuperación de materiales y/o energía mediante la integración de procesos dando lugar al enfoque de ecología industrial (Valdés, A, 2019).

1.1.2 Mecanismos para la minimización de residuos industriales

La Producción Más Limpia se define como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia global y reducir los riesgos a la población y al medio ambiente, tomando como principio reducir al mínimo o eliminar los residuos y emisiones en la fuente y no tratarlos después que se hayan generado.

- En los procesos de producción, la Producción Más Limpia aborda el ahorro de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas y la reducción en cantidades y toxicidad de desechos y emisiones.
- En el desarrollo y diseño del producto, la Producción Más Limpia aborda la reducción de impactos negativos a lo largo del ciclo de vida del producto: desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final.
- En los servicios, la Producción Más Limpia aborda la incorporación de consideraciones ambientales en el diseño y entrega de los servicios. Como se mencionó anteriormente, la Producción Más Limpia es la aplicación continua de una estrategia y metodología preventivas (ONUDI, 2008).

Generalmente la implementación de la producción más limpia comienza con la adopción de buenas prácticas, que corresponde a la alternativa menos compleja, y progresivamente se complementa con las demás según su complejidad (“Importancia de la Producción más Limpia en IPS.,” s.f.).

En relación con los residuos, la industria puede adoptar ciertas medidas para la reducción de éstos y de las emisiones en la fuente, lo cual trae beneficios económicos y ventajas competitivas frente a otras empresas que no han incorporado procesos de producción menos contaminantes. Algunas de estas estrategias son:

- Cambios en las materias primas o insumos. Corresponde al uso de materias primas e insumos que no generen o que generen un nivel inferior de residuos indeseables o peligrosos. El resultado de estos cambios es una minimización de los residuos y una menor exposición de los trabajadores a contaminantes producidos en el proceso manufacturero.
- Cambios de tecnología. Esto significa modificar sistemas obsoletos o costosos por tecnologías adecuadas donde la inversión es recuperada en el corto plazo, por el ahorro de materias primas e insumos y/o mejoramiento de la productividad. Estos cambios generan beneficios ambientales ya que el uso más eficiente de las materias primas e insumos tiene como consecuencia una disminución en la cantidad de residuos.
- Cambios en las prácticas de operación. La aplicación de buenas prácticas de gestión de operaciones en la empresa se basa en la aplicación de una serie de procedimientos y/o políticas organizacionales y administrativas destinadas a mejorar y optimizar los procesos productivos y a promover la participación del personal en actividades destinadas a lograr la minimización de los residuos.
- Reciclaje (reúso de materiales o residuos). Una vez agotadas todas las alternativas de reducción en el origen, se debe poner atención a las posibilidades de reutilizar o reciclar materiales o insumos, dentro o fuera de la industria. Esto permite reducir los volúmenes de residuos a ser dispuestos, transformándolos en un insumo más

dentro del mismo proceso productivo u otro, y pueden tener un retorno económico que puede exceder o no los costos involucrados (Quevedo, Y, 2017).

1.1.3 Beneficios de una adecuada gestión de residuos

Son variados los beneficios que se reportan en la literatura acerca de los residuos y su gestión. Sintéticamente se resumen a continuación los más importantes:

- Ahorro en costos por reutilización de un efluente tratado o materia prima reciclada; por disminución en la necesidad de mantenimiento de equipos (aire más limpio); por la venta de residuos reciclables; por cumplimiento de normas y permisos, que evita el pago de multas; por un aumento en la eficiencia de producción, fruto de un mejor conocimiento de los procesos y prácticas que generan residuos.
- Posibilidad de vender productos tecnológicos innovadores, resultantes de investigaciones destinadas a adoptar procesos productivos más limpios.
- Aumento del valor de las propiedades adyacentes, como consecuencia de un medio ambiente más limpio.
- Disminución en los costos de salud, para tratar enfermedades causadas por los focos de infección que representan los vertederos clandestinos y aguas contaminadas, así como también una disminución de costos de tratamiento de enfermedades respiratorias causadas por la contaminación atmosférica.
- Crecimiento económico del área involucrada, debido a la existencia de agua más limpia, aire más puro y un sistema controlado de disposición de residuos sólidos.
- Aumento en el potencial de crecimiento urbano de la zona, por la recuperación para estos usos de zonas antes no aptas para el desarrollo urbano.
- Recuperación de terrenos para usos agrícolas, urbanos u otros, antes utilizados como vertederos de residuos.
- Mejoramiento de la imagen pública de la industria, tras la implementación de sistemas de abatimiento de la contaminación.
- Progreso tecnológico como resultado de la concepción, diseño e implementación de plantas de tratamiento, rellenos sanitarios, etc (Quevedo, Y, 2017).

Según lo planteado anteriormente, sin dudas resulta de vital importancia un exigente cuidado al Medio Ambiente, de ahí, el creciente interés de realizar un amplio estudio a los residuos generados en la Fábrica de Baldosas, con fin de brindarle una creciente utilidad en la producción de pinturas. Su utilización sería únicamente como materia prima y contaría con la adición de pigmentos utilizados dentro de la misma empresa, sustituyendo significativamente el empleo de otros materiales, sin generar costos económico para la entidad. Además, se eliminarían los desechos residuales sin que provoquen daños medioambientales.

1.2 Pinturas

Definiciones, materiales, clasificación, formulaciones y usos.

Definiciones:

- 1- La pintura es una mezcla líquida o viscosa que aplicada por extensión, proyección o inmersión sobre un objeto o material, lo reviste, colorea y protege.
- 2- Las pinturas son mezclas líquidas elaboradas en diferentes colores y que se aplican sobre las superficies exteriores o interiores de las estructuras con fines que pueden ser: decorativos, impermeabilizantes, de protección anticorrosiva, de señalización o de protección contra el fuego.
- 3- Las pinturas son líquidos que se solidifican al exponerlos al aire y que se utilizan para cubrir superficies, para decorarlas o protegerlas. Las pinturas se forman mezclando un pigmento (la sustancia que proporciona el color) con un aglutinante que hace de medio fluido, por ejemplo el aceite de linaza, y que se solidifica al contacto con el aire.
- 4- Las pinturas son mezclas líquidas generalmente coloreadas que aplicadas por extensión, pulverización o inmersión, forman una capa o película opaca en la superficie de los materiales de construcción a los que protege y decora.

Componentes de las pinturas

Hay dos grandes grupos:

- Componentes líquidos: Como el vehículo, que a su vez consta de un aglutinante y un disolvente.

- Componentes sólidos: Como los pigmentos y las cargas.

Pueden llevar, además, secativos y aditivos.

Vehículo, ligante, resina o polímero: Es el líquido en el cual están en suspensión los pigmentos. El vehículo está formado por toda una serie de componentes necesarios para que la pintura se pueda aplicar, sostenga el pigmento, seque y adhiera el mismo a la superficie. Los componentes del vehículo son los siguientes:

1. El vehículo básico: Líquido principal que va a constituir la pintura. El agua en las pinturas de agua y el aceite en las de aceite.
2. Materiales filmógenos: Aceites, resinas, cal, gomas, colas, etc., que van a servir para adherir el pigmento a la superficie cuando el vehículo no lo hace totalmente.
3. Disolventes: Líquidos ligeros, relativamente volátiles a la temperatura ambiente cuya misión es aumentar la fluidez de la pintura para permitir la penetración en la superficie y la aplicación en capas delgadas por lo que se les llama también “adelgazantes”. Los disolventes se utilizan además para solubilizar las resinas y regular la velocidad de evaporación.

Los principales disolventes empleados en las pinturas de construcción son los son: (1) Esencia de trementina o aguarrás. (2) Esencia de pino. (3) White-Spirit o hidrocarburo petrolífero. (4) Queroseno. (5) Éter de petróleo. (6) Gasolina. (7) Hidrocarburos del alquitrán de hulla (benzol, toluol, xilol). (8) Alcoholes (metílico, etílico, amílico, etc.) (Cazorla, A, 2010).

Son una fuente importante de preocupación ambiental en aplicaciones de recubrimiento porque a medida que se produce el curado se liberan contaminantes peligrosos del aire (HAP) y compuestos orgánicos volátiles (VOC) (Indian Machine Tool Manufacturers' Association, 2015).

4. Secantes: Son los componentes de las pinturas que actúan como aceleradores de la oxidación de los aceites que forman el vehículo o el material filmógeno, o sea, que aceleran su secado. Generalmente, son un óxido o una sal de ácido débil de un metal

peroxidado. En la práctica se emplean óxidos de plomo, manganeso y cobalto o sales orgánicas de ellos (linoleatos, resinatos y naftenatos).

5. Plastificantes: Ciertos vehículos, forman películas poco elásticas y quebradizas, incapaces de adaptarse sin fisuraciones a los movimientos del soporte. Esto se evita añadiendo ciertos productos, llamados plastificantes, cuya misión es mejorar la flexibilidad de la película de pintura (Cazorla, A, 2010).

El aglutinante: es la materia no volátil de un material de recubrimiento sin pigmentos y cargas pero que incluye plastificantes, secadores y otros aditivos no volátiles. El aglutinante une las partículas de pigmento entre sí y al sustrato.

Los pigmentos: Los pigmentos son partículas que son prácticamente insolubles en la composición de pintura o revestimiento. Los pigmentos se usan decorativamente como colorantes o funcionalmente como anticorrosión o pigmentos magnéticos (Muller, B & Poth, U, 2011).

Generalmente son de origen mineral, ya que los productos animales o vegetales son más bien colorantes que pigmentos. La misión de un pigmento es, pues, colorear y hacer opacar la película de pintura para cubrir el soporte y darle el aspecto deseado. Por otro lado, sus propiedades físicas y químicas pueden colaborar a reforzar la misión protectora de la película de pintura: por ejemplo, el blanco de zinc se combina con el aceite de linaza para formar jabones de zinc muy resistentes (Cazorla, A, 2010).

Las cargas, extendedores o fillers: son, en general de naturaleza inorgánica, aportan cuerpo, materia sólida, y dan estructura, viscosidad y reología a la pintura. También proporcionan espesor de capa, opacidad, propiedades anticorrosivas, etc. Las cargas son opacas cuando están secas pero son traslúcidas en estado húmedo. Cabe distinguir entre cargas propiamente dichas y los extendedores (*stenders*). Los primeros aportan materia sólida a la pintura, mientras que los segundos mejoran el rendimiento de los pigmentos cubrientes. También es preciso indicar que en función de la carga utilizada variará de forma ostensible la viscosidad, la reología el brillo y otras características del producto final. Otra cuestión importante es la diferencia entre los índices de refracción de la carga y el ligante utilizado, cuanto mayor es la diferencia mayor es el poder cubriente de la carga.

Los aditivos: son productos que se dosifican en pequeñas cantidades para facilitar el proceso de fabricación de la pintura, aportar unas características concretas a la película de pintura seca, crear las condiciones adecuadas para que el secado se produzca de forma correcta y para estabilizar la pintura en el periodo de almacenamiento. Dentro de este grupo de productos encontramos humectantes y dispersantes cuya función es facilitar el mojado de pigmentos y cargas y su posterior dispersión y estabilización; espesantes que se utilizan para conseguir una consistencia determinada; agentes reológicos para dar un comportamiento determinado a la pintura durante y después del proceso de aplicación, antioxidantes, gelificantes, antimoho, antiespumantes, etc (Alonso, J, 2013).

Las cualidades que deben reunir las pinturas son: (1) Buena resistencia a la intemperie y a la corrosión. (2) Buena adherencia al objeto. (3) Ser neutro respecto al soporte. (4) Estabilidad de color. (5) Buen rendimiento. (6) Decorativa. (7) Dócil (Cazorla, A, 2010).

1.2.1 Clasificación de las pinturas: formulaciones y usos.

Las pinturas de acuerdo al disolvente que emplean se pueden clasificar en tres grandes grupos: (1) Pinturas al agua. (2) Pinturas al aceite. (3) Pinturas de resinas. (4) Pinturas especiales

Dentro de las pinturas al agua podemos encontrar:

Pintura a la cal: La pintura de cal es un producto muy antiguo y totalmente natural, que consiste principalmente en una mezcla de cal, bórax, caseína y tierras naturales. Es una de las primeras formas de pintura utilizada para edificios arquitectónicos y todavía, debido a sus peculiaridades, se considera un material de muy buena calidad y en muchos casos preferible a la pintura de origen sintético. Al estar compuesta de elementos de origen natural, esta pintura no contiene elementos tóxicos, no emite vapores peligrosos y no presenta ningún riesgo para la salud. Además, es altamente transpirable y resistente a los cambios térmicos, y por lo tanto constituye un excelente aislante térmico, además de contar con una alta transpirabilidad que favorece el paso natural del vapor de agua hacia las paredes evitando la formación de moho (“¿Cómo se prepara la pintura de cal?,” 2020).

Se emplean, generalmente, sobre soportes minerales yeso, piedra, mortero y nunca sobre metales; desempeñan un buen papel con fines sanitarios, dado el poder microbicida de la

cal, en locales toscos, tales como graneros, establos, etc. No soportan la intemperie (Cazorla, A, 2010).

Pinturas al cemento: Están constituidas por cemento blanco y, a veces Pórtland ordinario, solo o mezclado con cal, pigmentos resistentes a los agentes alcalinos, una pequeña proporción de caseína o estearatos (impermeabilizantes). Su secado se produce por una reacción análoga a la del fraguado del cemento, por lo que es necesaria la presencia de una cierta cantidad de agua: esto lleva consigo el mojado previo del soporte antes de que se produzca su aplicación. Nada más realizar la mezcla con agua se debe utilizar. Se debe emplear sobre superficies ásperas, rugosas y porosas para que se adhiera con facilidad. Se utiliza en exteriores sobre ladrillos, mortero de cemento y similares. Se aplica con brocha, rodillo o pulverizado.

Pinturas al silicato: Tiene como aglutinante una disolución acuosa de silicato de potasio o sodio y como pigmentos blanco de zinc y otros pigmentos resistentes a la alcalinidad. Es dura, resistente a la intemperie y a la alcalinidad del soporte. Se puede emplear sobre el hormigón y el cemento, pero no sobre el yeso. Se utiliza en exteriores sobre cemento y derivados, piedra, ladrillo y vidrios. Se aplica a brocha, rodillo y pistola (Alonso, J, 2013).

Pintura a la cola: Están constituidas por una cola de origen animal o vegetal disuelta en agua, cuya misión es fijar el pigmento finamente disperso, constituido, en general, por carbonato cálcico, sulfato bórico, óxido de zinc o litopón, acompañados por otros coloreados si se busca un efecto de color. A la cola se le añade un antifermo (formol, por ejemplo) para evitar su putrefacción bajo la influencia de los agentes atmosféricos.

Pintura a la caseína: Están formadas por un caseinato alcalino soluble en el agua, el cual, durante el secado, combina con la cal de los pigmentos o el soporte para dar un caseinato de cal insoluble (formación de una película dura e impermeable). Estas pinturas al agua, más modernas que las preparadas a la cola, se presentan en polvo en el comercio. Se preparan en el momento de su empleo, añadiendo agua, en la proporción fijada por el fabricante, al polvo seco o pasta densa que él proporcione. Se utilizan tanto en interiores como exteriores por poseer una cierta solidez (Cazorla, A, 2010).

Pintura plástica: Es una pintura al agua que tiene como aglutinante resinas plásticas o acrílicas y como pigmento cualquier tipo que resista la alcalinidad. El aspecto varía de mate

a brillante. Buena adherencia. Resistencia al lavado y al frote debido a su contenido en resinas. Se seca con rapidez. Se utiliza tanto en interior como en exterior sobre yeso, cemento y derivados. Si se utiliza sobre madera y metal se debe aplicar previamente una imprimación. Se puede aplicar tanto liso como picado, con brocha rodillo y pistola (Alonso, J, 2013).

Pinturas al aceite

Usan como ligante aceites secantes (linaza), para conseguir más cuerpo y más brillo. Se disuelven en hidrocarburos (White Spirit) o en aguarrás. Admiten toda clase de pigmentos y secan por evaporación del disolvente. Poseen gran flexibilidad y poder de penetración, son de secado lento, pierden su brillo amarillean en el exterior. Si se aplican con brocha dejan huella de ésta. Su uso ha quedado reducido a la imprimación anticorrosiva de metales ya que sus cualidades de penetración y humectación permiten su aplicación en hierros oxidados en los que no puede prepararse adecuadamente la superficie (Castro, E, García, J, Laloumet, E, & García, W, 1976) .

Esmalte graso: Está compuesto por aceites secantes mezclados con resinas duras naturales o sintéticas. Es una simple mezcla, en los esmaltes sintéticos es una combinación química. Como disolvente, aguarrás o White-Spirit. Buen brillo, que se pierde en la intemperie. Buena extensibilidad. No resiste la alcalinidad (por lo que hay que aislar la superficie del cemento). Tiene un secado y un endurecimiento lentos que se retrasan con el frío. La tonalidad blanca no es muy pura. Dan buenos barnices transparentes. Se utiliza en interiores como esmalte de acabado. En exteriores, debido al aceite pierde brillo al sol, por lo que tiene un uso restringido.

Esmalte sintético: Se obtienen por combinación química de resinas duras y aceites secantes. Como disolvente, aguarrás o White-Spirit. Las resinas más empleadas son las alquílicas, que tienen gran dureza, buen brillo, resisten agentes químicos e intemperie y, al combinarse con los aceites, tienen gran flexibilidad. Secan con rapidez. Gran brillo, incluso al exterior. Al interior disminuye el brillo y las resistencias exteriores disminuyen. Se utilizan mucho en decoración y protección de superficies de madera y sobre metal, tanto en exteriores como en interiores. Además de utilizarlo como cubriente, se obtienen barnices transparentes. También se utilizan como imprimaciones anticorrosivas, aunque necesitan

primero una preparación esmerada si se utiliza sobre metal. También se utiliza sobre superficies de cemento, aunque conviene neutralizarlo.

Pinturas de resinas

Pinturas al cloro-caucho: Se obtienen a base de un derivado clorado del caucho. Disolventes especiales, generalmente aromáticos (los disolventes normales, aguarrás, White spirit, no son suficientemente fuertes). A veces llevan cargas, pigmentos de color y aditivos adecuados. Resisten agentes atmosféricos, agua y agentes químicos. Son impermeables, se adhieren bien a cualquier superficie, incluso las de tipo alcalino. Seca rápido. Se utiliza sobre superficies de hormigón, acero, depósitos de cemento, marcas viales, piscinas, etc. No tienen problemas para repintados.

Pinturas epoxi: Se transportan en dos envases, en uno la resina epoxi y en el otro un catalizador o endurecedor. Los pigmentos pueden ir con cualquiera de los dos componentes. Disolventes fuertes. Duración limitada de la mezcla. Muy duras, gran resistencia química, adherencia al cemento, secado rápido. Se pueden mezclar con alquitranes obteniendo impermeabilidad y resistencia al agua. Si se utiliza sobre acero hay que eliminar todo el óxido. Se utiliza en instalaciones industriales, en tanques, aunque lleven ácidos o álcalis, en garajes, en lavaderos, en todo tipo de naves sujetas a frecuentes limpiezas. Tienen una propiedad de descontaminación radiactiva, por lo que se utilizan en hospitales y laboratorios en los que exista medicina nuclear.

Pinturas de poliuretano (resinas de poliéster): Hay dos tipos: unas que tienen un solo componente que se cataliza con la humedad, y otras que tienen dos componentes: una resina de poliéster que se mezcla con un endurecedor o catalizador. Se utilizan disolventes especiales, los que recomienda el propio fabricante. Elásticas, duras, gran brillo, resisten productos químicos e intemperie. Muy decorativas, con el endurecedor adecuado no amarillean. Son sensibles a los alcoholes con los que reaccionan y forman burbujas. No pintar en tiempo húmedo. Para lograr una pintura de gran calidad se recomienda dar primero una mano de pintura epoxi y luego otra de poliuretano. Buenos barnices para el parquet y suelos de madera. En muebles como barniz o esmalte coloreado. Si se utiliza sobre metales conviene darle antes una capa de minio. Endurece con rapidez. Si se dan varias capas, no dejar pasar más de 48 horas entre una y otra.

Pinturas ignifugas e intumescentes: Son pinturas que no arden al someterlas a una llama intensa, y a veces aíslan el elemento de la acción del fuego por lo que retrasan su destrucción. Puede ser ignifugas simplemente o además ser intumescentes, que son en las que, al producirse el fuego, aparece un efecto de esponjamiento celular debido al calor consiguiendo que una capa delgada de pintura se transforme en una costra esponjosa. Detiene la propagación del fuego y aísla el soporte. Se suelen realizar varias capas finas hasta llegar a 1 mm. Son sensibles al agua porque pierden parte de sus propiedades. Son de poca finura en el grano, cuando se pintan puertas se hacen a parte para que el grano sea más fino (Cazorla, A, 2010).

Pinturas especiales

Lacas o pinturas nitrocelulósicas (al tuco): Llamadas también lacas o pinturas al duco, su principal y característico componente es la nitrocelulosa (nitrato de celulosa, pirixolita o algodón pólvora), plastificada adecuadamente para darle flexibilidad. Hay dos tipos: las que tienen un brillo directo, con un tipo de resina maleica; y las pulimentables que inicialmente dan poco brillo, pero gracias a unos aditivos especiales al pulir desarrollan todo su brillo. Los disolventes son especiales y de rápida evaporación (Castro, E et al., 1976).

Duras y tenaces. Resisten el roce y la intemperie. Pierden parte del brillo, que se recupera al pulir. Al evaporarse los disolventes se secan. No recomendadas en maderas. Hay que tener en cuenta los cambios de humedad. Se utilizan como lacas transparentes, para barnizar maderas. Tiene una diversa gama de brillos. En superficies metálicas, chapas de coches.

Pinturas bituminosas: Se obtienen con soluciones de productos bituminosos (breas y alquitranes) y con disolventes normales (White spirit, aguarrás. . .) Algunas veces se incorporan resinas. Son impermeables al agua. Resisten aceite, petróleo y álcalis, pero no resisten disolventes. Se adhieren bien sobre metal y cualquier elemento de enfoscado, mortero, hormigón, etc. Con el tiempo y a causa generalmente del sol y del aire, pierden parte de sus propiedades porque se oxidan y aparecen grietas. Se utiliza como protección contra humedades. Elementos metálicos, impermeabilizar hormigón, juntas de dilatación, protección de elementos enterrados.

Siliconas: Son productos sintéticos formados por un elemento químico, el silicio, con átomos de hidrógeno, oxígeno y otros radicales. A veces no penetran lo suficiente en el

material. Cuando se depositan sobre un elemento, si posteriormente se aplicase agua no cambia de color, o sea, no se moja y el agua resbala. Se debe hacer una impregnación muy abundante porque no se puede repetir el tratamiento. En forma de barnices son transparentes, brillantes, saturan los poros y repelen el agua. Cuando se utilizan sobre superficies de cemento, conviene esperar a que el hidróxido de calcio libre se carbonate. Se utilizan como antiespumantes, a veces para dar efecto de martelé. También con efectos hidrofugantes.

Pinturas de aluminio: De aspecto metálico. Se incorpora una pasta de aluminio molido y un barniz graso. El aluminio forma unas escamas que flotan, llamado efecto leafing, y forman una película de aspecto metálico por la que no penetra la humedad. También aísla de rayos ultravioletas. Si no flotasen se emplea como carga o para mezclar con otras pinturas. Resiste a la intemperie según el tipo de resina, así como a los ambientes marinos. A veces las escamas superiores se desprenden y producen manchas. Refleja los rayos infrarrojos del sol, por lo que se emplea en tanques para evitar su calentamiento. También se emplean para cerrar nudos de madera. Se utilizan para proteger superficies de hierro previa imprimación antioxidante. Pintura resistente al calor.

Pinturas al martelé: Es una pintura al aluminio. Las escamas no flotan. Por efecto de una silicona tiene un aspecto característico que se llama martelé: Es una especie de dibujo irregular, parecido a si martilleásemos sobre cobre para darle forma. Como aglutinante, cloro caucho, epoxi, poliuretano, etc. Hay que dar dos manos porque hay que cuidar que en los cráteres no dejen de proteger el soporte. Disimula defectos. Sus características varían en función del aglutinante. Color gris metálico. A veces pueden alterarla pinturas próximas y si se pinta con pistola, hay que cuidar que las gotas no escurran. Se emplea en ascensores, puertas metálicas, armarios metálicos, instalaciones, aparatos eléctricos. A veces como pinturas decorativas.

Pinturas emulsionadas: Están formadas por una emulsión acuosa de resinas plásticas de origen orgánico o sintético, que secan por polimerización, y de pigmentos, inalterables a la luz, que se encuentran en suspensión en el líquido. Como vehículo en estas pinturas se emplean resinas, como son: caucho natural, caucho sintético, diferentes resinas sintéticas como el vinil, acetatos y cloruros de polivinilo y poliestireno. Sus características

fundamentales son: gran rendimiento, brillantez, consistencia, secado rápido, bellos colores, mayor durabilidad y buen aspecto. De acuerdo con el tipo se emplean en interiores o en exteriores y sobre superficie de mampostería, hormigón yeso, estuco, ladrillo fibrocemento. También se fabrican pinturas de este tipo para aplicarse sobre metales.

Pinturas resistentes al calor o ignífugas: Para resistir temperaturas de hasta 600 °C se emplean pinturas que tienen como pigmento, polvo de aluminio o grafito y vehículos sobre la base de aceites minerales; estos aceites se queman por el calor y el pigmento se une fuertemente a la superficie. También se usan cuerpos amínicos, que por el calor desprenden amoníaco formando una capa aislante y ácido bórico, fosfatos y silicatos, que originan una costra incombustible. Modernamente se emplean para temperaturas altas y continuas, alrededor de 500 °C, pinturas sobre la base de resinas de isocianato poliéster, bien sean las resinas, combinaciones de isocianato más resinas de silicona o resinas de silicona solamente (Cazorla, A, 2010).

1.3 Pintura cementosa

Definición: Esta pintura producida en forma de polvo seco, está constituida por una base cementosa que, al ser mezclada con agua, permite obtener un revestimiento con propiedades impermeabilizantes que decora todo tipo de superficie de hormigón, mortero, piedra, ladrillo y bloques, pudiendo usarse tanto en interiores como en exteriores.

Indicaciones de uso

Preparación de la superficie: Debe estar libre de polvo, grasa, sales y esflorecencias. Para aplicarla en una superficie ya cubierta con otros tipos de pintura, debe ser rapillada para eliminar todo el material suelto. Por último, debe humedecerse a la superficie hasta su saturación para evitar la absorción del agua contenida en la pintura.

Preparación de la Pintura: Se mezcla un volumen de polvo con igual volumen de agua, por ejemplo, para un galón de polvo, un galón de agua. Es apta para su uso hasta dos horas después de mezclada, pasado este tiempo, comienza a endurecerse. El mezclado debe hacerse echándole el polvo al agua poco a poco e ir batiendo constantemente hasta obtener la homogeneidad requerida después del mezclado, la pintura se deja reposar durante 15

minutos al cabo de los cuales se bate nuevamente, se pasa por una malla para mosquito y ya está apta para su aplicación.

Aplicación: Al aplicarse en exteriores es recomendable pintar los frentes que no reciban el sol o en los momentos de menor intensidad del mismo evitando en lo posible las horas del mediodía. Puede ser aplicada con brocha, con pistola de aire comprimido o con rodillo de espuma. Antes de iniciar la aplicación debe verificarse que la superficie se mantiene húmeda. Para aplicar la segunda mano, se debe esperar 2 4 horas, humedeciendo de nuevo la superficie.

Advertencias:

- (1) No se aplica sobre madera, metal ni paredes estucadas.
- (2) No debe agregársele agua a la pintura una vez preparada.
- (3) El empleo de esta pintura, no debe exceder de los seis meses posteriores a su fabricación.
- (4) Para el almacenamiento de este producto, deben cumplirse las mismas reglamentaciones y precauciones que se siguen con el cemento.

Preparación y aplicación de la pintura cementosa

La pintura cementosa es un acabado superficial, compuesto por polvo seco de cemento Pórtland blanco, pigmentos y otros materiales orgánicos e inorgánicos, los que, mezclados con agua, en el momento de su aplicación, producen una capa milimétrica de protección en hormigones, morteros y otros materiales similares. La durabilidad, en exteriores, es de diez años y para lograrlo es necesario un estricto control de calidad de las materias primas del producto terminado y de la aplicación en obra. En paredes lisas el rendimiento es de 2m²/l, aumentando este a 3m²/l en fachadas irregulares. El material es envasado en forma de polvo en fundas multicapas valvulados de papel kratf hasta un peso de 32 kg lo que equivale, después de la adición del agua en obra a 43 litros de pintura líquida (Cazorla, A, 2010).

1.4 Modelos multicriterio

Los modelos de decisión multicriterio son un conjunto de métodos usados para apoyar el proceso de decisión tomando en consideración múltiples criterios de una manera flexible, por medio de un esquema estructurado y comprensible. Estos métodos de evaluación son integradores en el sentido que combinan la información sobre el desempeño de las

alternativas respecto a los criterios con juicios subjetivos sobre la importancia relativa de estos en el contexto de evaluación (Chatziniolaou et al., 2018).

Para evitar confusiones en el contexto académico se ha establecido un lenguaje común en el tratamiento de los problemas de decisión multicriterio que será señalado a continuación. Se dice decisor a aquella persona encargada de tomar la decisión en base a darle la mejor solución posible al problema. Por alternativas se entiende al curso de acción o estrategias que pueden ser elegidas por el decisor. Por último, los criterios o familia de criterios corresponden a una dimensión de carácter cuantitativo o cualitativo que sirve para medir el desempeño de las alternativas.

La clasificación de los problemas multicriterios según el tipo de datos que pueden ser (i) deterministas, (ii) estocásticos y (iii) difusos (Sengupta, 2017). Hwang y Yoon (1981) establecieron además la diferenciación entre problemas multiobjetivo (MODM por sus siglas en inglés) y multiatributo (MADM por sus siglas en inglés) considerando si las alternativas de decisión pertenecen a un dominio continuo o discreto respectivamente, aunque con frecuencia el término multicriterio y multiatributo ha sido usado indistintamente. Señalan además que independientemente del problema o la técnica usada para analizarlo todos los modelos de decisión multicriterio tienen características comunes:

- *Múltiples criterios:* cada problema tiene múltiples criterios los que pueden ser objetivos o atributos.
- *Conflictos entre criterios:* generalmente la mejora obtenida en un criterio se hace en detrimento de otro criterio.
- *Unidades incommensurables:* los criterios difieren en las unidades en que son medidos.
- *Diseño/selección:* la solución a los problemas de decisión multicriterio son para diseñar o seleccionar entre un conjunto definido la alternativa preferida

Según Tzeng y Huang (2011) el proceso de decisión es extremadamente intuitivo considerando problemas de un solo criterio dado que se debe elegir la alternativa con el mejor desempeño. Sin embargo, cuando las alternativas se evalúan con múltiples criterios surgen muchos problemas como el peso de los criterios, la modelación de la preferencia y los conflictos entre criterios requiriendo técnicas más sofisticadas para superar estas

dificultades. Como consecuencia en los problemas multicriterio no existe la noción de mejor alternativa en el sentido clásico de la optimización, sino que el proceso determina la alternativa con mejor solución de compromiso.

En los problemas multiatributo se considera la estructura preferencial del decisor incorporándola al modelo de decisión para elegir la alternativa preferida, y al hacer esto múltiples criterios son analizados simultáneamente. Por su parte los problemas multiobjetivo identifican la frontera de Pareto, el conjunto de alternativas no dominadas. Se dice que una alternativa A_1 domina a otra A_2 si se cumple que: i) la alternativa A_1 no es peor que la alternativa A_2 en ningún criterio y ii) la alternativa A_1 es mejor que la alternativa A_2 en al menos un criterio. En este enfoque las preferencias del decisor no son tomadas en consideración lo que significa que una solución final no será indicada hasta que esta no sea incorporada al modelo de decisión para combinar los objetivos (De Almeida et al., 2016).

Además de lo anterior estos problemas pueden ser de tipo grupal (*group decision-making*) cuando más de un decisor tiene papel en el proceso de decisión. De acuerdo a Ben-Arieh y Chen (2014) el uso de grupos para la decisión ha ganado prominencia debido a la complejidad de las decisiones modernas que involucran complejidades sociales, económicas, técnicas y de otra naturaleza. Entonces en este caso es necesario además de considerar múltiples criterios integrar las preferencias individuales de los decisores para realizar una decisión que represente la posición del grupo con determinado grado de consenso.

En concordancia con lo anteriormente manifestado para el enfrentamiento de estos problemas se requiere un procedimiento estructurado que permita a los decisores obtener una solución adecuada a sus intereses, con la suficiente robustez y rapidez de acuerdo a las exigencias del problema. Existe cierto consenso que este proceso puede ser dividido en una serie de pasos elementales los que para Recchia y colaboradores (2011) se divide en:

1. Identificación del problema y objetivos
2. Estructuración del problema, definiendo alternativas y criterios a ser usados
3. Modelación de la preferencia
4. Agregación y análisis de los resultados

5. Discusión y negociación acerca de los resultados obtenidos.

El Análisis Multicriterio se utiliza para emitir un juicio comparativo entre proyectos o medidas heterogéneas y en el ámbito de evaluación, se emplea especialmente en las definiciones de opciones de intervención. Existen más de 120 metodologías y herramientas asociadas al Análisis Multicriterio. La aplicación del Análisis Multicriterio a evaluaciones como el impacto ambiental y el impacto social son reportados en la literatura (García, 2004a, Sarquis et al., 2010) Muy asociado al Análisis Multicriterio está el Análisis y Toma de decisiones (Muñoz, 2006). En muchas de las decisiones que se toman actualmente, no se cuenta con la implementación de algún modelo cualitativo o cuantitativo, y más bien se fundamentan en variables diversas como la intuición, la experiencia o la historia, pero de cualquier manera, el directivo cumple una función importante en la manera como se resuelven los problemas de la organización. Muchas veces, esto se debe a que en el proceso de toma de decisiones no siempre se dispone en el momento preciso de toda la información requerida, y mientras más compleja sea la decisión, más difícil resultará conocer todas las alternativas. En el Análisis Multicriterio, es muy importante la selección y adecuación de las herramientas que se utilicen para alcanzar los objetivos planteados. Algunas deben ser desarrolladas por los propios investigadores, y de su uso será el éxito que se alcance en la investigación.

1.4.1 Métodos para la selección de criterios

Cuando se analizan los pasos elementales para la solución de un problema multicriterio se puede pronosticar que la selección de los criterios resulta un desafío en sí mismo. La identificación de los problemas, objetivos y la definición de las alternativas pueden ser abordadas por disciplinas como la administración, la economía, la ingeniería y otras sin embargo para la selección de los criterios a utilizar en la evaluación es necesario que concurren todas estas. En el caso contrario el proceso de decisión se verá fragmentado dado que no existe un acuerdo común por lo que usualmente en esta etapa se usan equipos de trabajo multidisciplinarios.

Wang et al. (2009) señalan que este proceso puede ser apoyado mediante métodos matemáticos entre los que destacan el método Delphi, los mínimos cuadrados (*least mean square*), la desviación minimax, el coeficiente de correlación, el método relacional gris

(*grey relational method*), el proceso de jerarquía analítica (AHP), el método de agrupación (*clustering method*), el análisis de componentes principales y el método de conjunto aproximado (*rough set method*), todos lo que pueden aplicarse para eliminar la relevancia entre los criterios y ayudar a seleccionar los criterios independientes.

No obstante, independientemente de los criterios seleccionados estos deben cumplir una serie de requisitos para poder ser usados destacando Chang y Pires (2015):

- **Principio sistémico.** Los criterios relevantes deben reflejar las principales características del desempeño del sistema
- **Principio de consistencia.** Los criterios deben ser compatibles con los objetivos de los decisores.
- **Principio de independencia.** Los criterios no deben tener una relación igual inclusiva con otros criterios del mismo nivel. Los criterios deben reflejar el rendimiento de las alternativas desde aspectos versátiles.
- **Principio de medición.** Los criterios deben ser medibles como valores cuantitativos si es posible o expresados cualitativamente.
- **Principio de comparabilidad.** Cuanto mayor sea la racionalidad mayor será la comparabilidad con los criterios pertinentes. Los criterios deben normalizarse para comparar u operar con criterios de beneficios y criterios de costos.

Esto hace que usualmente la mayoría de los criterios de evaluación se dividan en cinco categorías o familia de criterios que representan los pilares de la sostenibilidad: técnico, regulatorio, económico, ambiental y social; sin embargo, los criterios asociados con cada categoría están diversificados debido a los requisitos propios del proceso de decisión relacionados con la confiabilidad, la exhaustividad, la comprensión y las limitaciones, como la disponibilidad de datos. Algunos criterios con implicaciones superpuestas podrían estar vinculados a aspectos socioeconómicos, socio-ambientales y económico-ambientales considerados integralmente en la interpretación final (N.-B. Chang & Pires, 2015) (maestría Alejandro).

1.4.2 Método Delphi

El método Delphi fue desarrollado por Dalkey y Helmer (1963) a mediados del siglo pasado mientras trabajaban en la corporación RAND. Según Linstone y Turoff (2002) este

puede ser descrito como un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo. Es una técnica muy versátil, ya que hace uso de la información que proviene tanto de la experiencia como de los conocimientos de los participantes de un grupo, normalmente compuesto por expertos. Es de gran utilidad frente a situaciones en las que se carece de información objetiva, circunstancias en las que es apropiado utilizar el juicio experto, que con esta técnica aumenta su fiabilidad, ya que supera los sesgos y limitaciones de un solo individuo y permite basarse en el juicio intersubjetivo (Reguant-Álvarez & Torrado-Fonseca, 2016).

Para el uso del método se deben seguir las siguientes premisas:

- Anonimato de los participantes
- Repetitividad y realimentación controlada
- Respuesta del grupo en forma estadística

El proceso para su conducción es de acuerdo a Ravindran et al. (2018) como sigue:

Paso 1. El facilitador envía a los miembros del panel una encuesta preguntando por su opinión respecto al tema a prever.

Paso 2. Las respuestas del panel son analizadas por el facilitador preparando un resumen estadístico.

Paso 3. El resumen estadístico es compartido con el panel de expertos. A estos se les pide que revisen su pronóstico basado en la respuesta del grupo. Además, se les pide que comenten los motivos de mantener o cambiar su opinión.

Paso 4. El resumen estadístico de la respuesta del panel y sus comentarios es compartido nuevamente con el panel.

Este proceso continúa hasta que se logra un consenso entre los expertos. Jacobs y Chase (2018) señalan que usualmente tres rondas son suficientes para lograr resultados satisfactorios y que el tiempo requerido para el proceso está en función del número de participantes, cuanto esfuerzo estos dedican para su pronóstico y el tiempo de respuesta.

En el Epígrafes 2.5 se muestran las bases matemáticas para el Método Delphi.

1.5 Diseño de experimentos

El diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso, por medio de pruebas planeadas adecuadamente. Esta metodología se ha ido consolidando como un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería, que permiten entender mejores situaciones complejas de relación causa-efecto.

El diseño estadístico de experimentos es precisamente la forma más eficaz de hacer pruebas. El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras. Algunos problemas típicos que pueden resolverse con el diseño y el análisis de experimentos son los siguientes:

- (1) Comparar a dos o más materiales con el fin de elegir al que mejor cumple los requerimientos.
- (2) Comparar varios instrumentos de medición para verificar si trabajan con la misma precisión y exactitud.
- (3) Determinar los factores (las *x* vitales) de un proceso que tienen impacto sobre una o más características del producto final.
- (4) Encontrar las condiciones de operación (temperatura, velocidad, humedad, por ejemplo) donde se reduzcan los defectos o se logre un mejor desempeño del proceso.
- (5) Reducir el tiempo de ciclo del proceso.
- (6) Hacer el proceso insensible o robusto a oscilaciones de variables ambientales.
- (7) Apoyar el diseño o rediseño de nuevos productos o procesos.
- (8) Ayudar a conocer y caracterizar nuevos materiales (Gutiérrez, H & Salazar, R, 2008).

Está claro que los problemas actuales no pueden resolverse de manera mecánica. Las técnicas de análisis estadístico han de introducirse según se vayan necesitando. Pero, más importante que aprender nuevas técnicas, es crear un pensamiento estadístico, lo que contribuye para el que enseña una exigencia mayor (Peña, D, Molina, C, & Cordero, M, s.f.).

Se ha evidenciado anteriormente que el diseño de experimentos estudia la gran diversidad de problemas o situaciones que ocurren en la práctica, exigiendo a su vez la necesidad de elegir el más adecuado para una situación dada.

Los cinco aspectos que más influyen en la selección de un diseño experimental, en el sentido de que cuando cambian por lo general nos llevan a cambiar de diseño, son: (1) El objetivo del experimento. (2) El número de factores a estudiar. (3) El número de niveles que se prueban en cada factor. (4) Los efectos que interesa investigar (relación factores-respuesta). (5) El costo del experimento, tiempo y precisión deseada.

Estos cinco puntos no son independientes entre sí, pero es importante señalarlos de manera separada, ya que al cambiar cualquiera de ellos generalmente cambia el diseño experimental a utilizar. Con base en algunos de estos cinco puntos es posible clasificar los diseños como lo hacemos a continuación.

El objetivo del experimento se utiliza como un criterio general de clasificación de los diseños experimentales, mientras que los otros cuatro puntos son útiles para subclasificarlos. En este sentido, de acuerdo con su objetivo y sin pretender ser exhaustivos, los diseños se pueden clasificar como:

- (1) Diseños para comparar dos o más tratamientos.
- (2) Diseños para estudiar el efecto de varios factores sobre la(s) respuesta(s).
- (3) Diseños para determinar el punto óptimo de operación del proceso.
- (4) Diseños para la optimización de una mezcla.
- (5) Diseños para hacer el producto o proceso insensible a factores no controlables (Gutiérrez, H & Salazar, R, 2012).

A partir del objetivo trazado en este proyecto se determinó que se usaría el diseño de experimentos para determinar el número mínimo de experimentos en una matriz que me permitiera mezclar los niveles seleccionados para cada variable independiente

1.5.1 Diseño de experimentos de mezcla: clases de diseños de mezclas y modelos.

A lo largo de la historia, el problema de la formulación de mezclas ha sido tradicionalmente abordado por el método de ensayo y error, que consiste en formular mezclas donde las proporciones de los materiales utilizados se establecen de manera arbitraria y se selecciona

aquella mezcla que mejora las propiedades de interés, sin ser necesariamente la óptima, ya que no se exploran todas las combinaciones posibles de los componentes.

Un diseño de experimentos con mezclas que tienen q componentes o ingredientes, consiste en un conjunto de experimentos en los que se prueban combinaciones particulares o mezclas de dichos ingredientes. Si se denotan por $x_1, x_2 \dots x_q$, las proporciones en las que participan los componentes de la mezcla, se deben satisfacer dos restricciones: $0 \leq x_i \leq 1$ para cada componente i y $\sum_{i=1}^q x_i = 1$. Estas restricciones indican que la suma de todos los componentes que integran la mezcla debe ser 100 por ciento (%), esto significa que los componentes no pueden ser manipulados independientemente unos de otros, y que sus proporciones deben variar entre 0 y 1.

Sin embargo, existen situaciones donde algunas proporciones no pueden variar entre 0 y 1, porque algunas o todas las proporciones de los componentes están restringidas por límites inferiores L_i y/o límites superiores U_i , entonces la restricción puede definirse como:

$0 \leq L_i \leq x_i \leq U_i \leq 1$. Además de los límites superiores e inferiores que restringen a los componentes de forma individual, puede que exista cierta dependencia entre dos o más componentes y sea necesario utilizar restricciones lineales de multicomponentes, que ponen límites a las funciones de componentes. Por otro lado, es posible que se desee mantener fija cierta parte de la mezcla, entonces las proporciones deben ser escaladas, de tal forma que sumen la unidad (Ortega, D, Bustamante, M, Correa, A, & Gutiérrez, D, 2014).

Un diseño de mezclas es una regla de asignación de unidades experimentales a los tratamientos que, en este caso, corresponden a diferentes mixturas presentes en el simplex. Esta función de cual sea la regla de asignación que mencionábamos antes, existen varias clases de diseños distinguidos (García, I, 2017).

Diseño de Simplex Lattice: Al estudiar las propiedades de una mezcla de componentes q , que sólo dependen de la relación de componentes, el espacio factorial es un simplex regular $(q-1)$ y para la mezcla la relación que se establece es:

$$\sum_{i=1}^q x_i = 1; 0 \leq x_i \leq 1$$

Dónde X_i es el componente concentración-relación-producciones, y q es el número de componentes en la mezcla.

Para sistemas binarios, ($q = 2$) un 1-simplex es un segmento de línea recta. Para $q = 3$, el 2-simplex regular es un triángulo equilátero con su interior. Cada punto en el triángulo corresponde a una determinada composición del sistema ternario y, por el contrario, cada composición se presenta por un punto distinto. La composición puede expresarse como una fracción o porcentaje molar, peso o volumen (Zivorad, R, 2004).

Los vértices del simplex representan los componentes puros, las aristas corresponden a las mezclas binarias de los componentes cuyos vértices se unen y los puntos interiores son las mezclas de tres ingredientes (García, I, 2017).

Si dibujamos una altitud de cada vértice, diseccionando cada altitud en diez segmentos iguales y dibujamos a través de los puntos rectas paralelas que dividan los lados del triángulo, tendremos una red triangular-simplex reticular.

Acercarse de un lado al vértice opuesto corresponde al aumento proporcional en el contenido del componente "vértice", por lo tanto, la transferencia secuencial de una línea paralela de dos componentes a otro, significa el crecimiento de un tercer componente en un 10 por ciento (%). Sin embargo, en la práctica real, no se dibujan altitudes, sino que los contenidos de los componentes se marcan directamente en los lados del triángulo. Tal método de conteo se adopta en el triángulo de Gibbs. En el triángulo de Rozebum, la composición de un sistema ternario se lee de tres segmentos de uno.

Diseño de Simplex Centroide: Los diseños de centroide simplex de Scheffé contienen puntos $2^q - 1$, los cuales caen en línea recta de componentes q , C_q^2 en mezclas binarias, C_q^3 en mezclas ternarias, etc., y una observación en una mezcla de componentes q . Los diseños de centroide simplex consisten en los puntos cuyas coordenadas son $(1, 0, \dots, 0)$, $(1/2, 1/2, 0, \dots, 0)$, ..., $(1/q, 1/q, \dots, 1/q)$, y de todos los puntos que se pueden obtener de estos por permutaciones de coordenadas. Por lo tanto, el diseño contiene un punto en el centro del simplex (centroide) y los centroides de todos los componentes simplex de menor dimensión, sus propias caras.

Los polinomios obtenidos de diseños de centroide simplex contienen tantos coeficientes como puntos en el diseño, y para la mezcla de componentes q tienen la forma:

$$\hat{y} = \sum_{1 \leq i \leq q} \beta_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq q} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i < j < k \leq q} \beta_{ijk} x_i x_j x_k + \beta_{12 \dots q} x_1 x_2 \dots x_q$$

En un diseño de simplex centroid, los puntos de diseño serán subconjuntos no vacíos de q componentes verificando que los ingredientes presentes en la mezcla deben estar representados en la misma proporción (Zivorad, R, 2004).

Diseños Axiales: En los diseños anteriores, todos los puntos de diseño se localizan sobre los vértice, aristas y caras del simplex a excepción del centroide global; $(1/q, \dots, 1/q)$; que se encuentra en el interior. Esta nueva clase de diseños se caracteriza por tener todos los puntos de soporte en el interior del simplex. Se denominan ejes del simplex a las líneas imaginarias que se extienden desde $(0, \dots, 1^{(i)}, \dots, 0)$ hasta cada $(\frac{1}{q-1}, \dots, 0^{(i)}, \dots, \frac{1}{q-1})$; $\forall i=1, \dots, q$. La longitud del eje es precisamente la mínima de las distancias desde cualquier vértice al lado opuesto.

Un diseño axial es aquel cuyos puntos de diseño se sitúan sobre los ejes que unen los puntos $p_i = 0, p_j = \frac{1}{q-1}$ para todo $j \neq i$ hasta el vértice $p_i = 1, p_j = 0$ para todo $j \neq i$. Por tanto los puntos del soporte son de la forma:

$$\left\{ \left(\frac{1+(q-1)\Delta}{q}; \frac{1-\Delta}{q}; \dots; \frac{1-\Delta}{q} \right) \in S, \frac{-1}{q-1} < \Delta < 1 \right\},$$

Y todas sus permutaciones, donde Δ es la distancia de cada punto la centroide. Δ se mide en unidades de p_i y el valor máximo que puede alcanzar es $\frac{q-1}{q}$. Este tipo de diseños fueron propuestos por Cornell.

Estos tipos de diseños han sido frecuentemente utilizados por los experimentadores ya que aseguran la estimación de los parámetros para cierta clase de modelos.

1.6 Conclusiones Parciales

1. Las formas tecnológicas más estudiadas y reportadas para la producción de pinturas económicas son: la lechada de cal, la lechada con cieno de carburo de calcio, la lechada

con productos cementosos de polvo de piedra con componentes resinosos de plantas o industriales.

2. Son muy escasas las aplicaciones de índices ambientales e índices sociales conjuntamente con los indicadores económicos utilizadas en la toma de decisiones.
3. Las herramientas multicriterio son útiles y eficaces en la toma de decisiones para encontrar la mejor alternativa en un proceso inversionista.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II. Metodología experimental y resumen del diagnóstico

2.1 Introducción al capítulo

Generalmente, las metodologías estudiadas para analizar las mejores alternativas de inversión en un primer paso, se fundamentan en criterios económicos a partir de propuestas realizadas por asesores, grupos de proyectos, personas guiadas por técnicas grupales, pero en muchos casos sin considerar directamente otros indicadores como impactos sociales, ambientales, o en el mejor de los casos sin una evaluación certera de estos indicadores. Para que la metodología que se proponga sea eficaz debe ser capaz de incorporar varios objetivos incluyendo la evaluación de indicadores cualitativos, además, debe ser flexible, realista y relativamente fácil de implementar.

En este capítulo se desarrollará la metodología mostrada en el diagrama heurístico de la Figuras 2.1, que comienza con la aplicación de métodos multicriterios que incorporan criterios de evaluación cualitativos y cuantitativos.

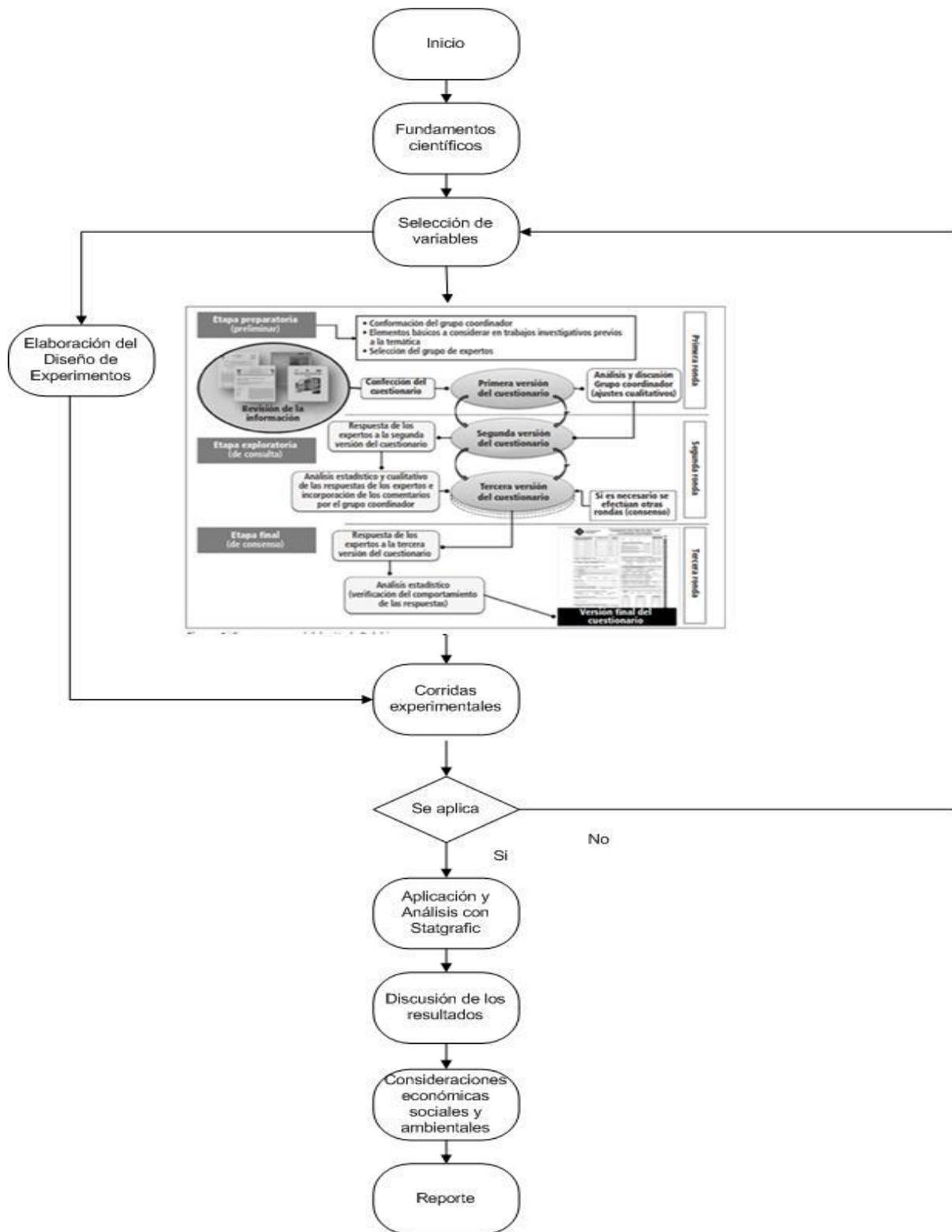


Figura 2.1 Diagrama heurístico

2.2 Resumen del Diagnóstico de la Fábrica de Baldosas

La Fábrica de Baldosas de la UEB Hormigón perteneciente a la Empresa de Materiales de Construcción de Cienfuegos, que fue creada mediante Resolución Ministerial No. 123 de fecha 18 de febrero de 2002, dictada por el Ministro de la Construcción. La planta se localiza en la Zona Industrial #1 de la ciudad de Cienfuegos, en la cual se ubican varias instalaciones industriales, fundamentalmente dedicadas a la producción de elementos para la construcción, por lo que en sus inmediaciones no existen asentamientos humanos que puedan ser afectados negativamente por el desarrollo del proceso productivo de ésta.



Figura 2.2: Ubicación Fábrica de Baldosas de la UEB Hormigón (Google Map)

2.2.1 Objeto social

Consiste en la fabricación de baldosas bicapas fundamentalmente y como producción secundaria se obtienen volúmenes de rodapiés. Durante el proceso de pulido de la baldosa se obtienen volúmenes considerables de lodos residuales que en estos momentos constituyen el principal desecho sólido que se genera en la fábrica y no se le da ningún uso, por lo que son vertidos al medio natural provocando afectaciones al medio; estos lodos pueden ser usados en la propia industria y en otras instituciones para diferentes propósitos constructivos.

En la Empresa se trabaja en la implementación del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC), se nota una labor desarrollada con eficiencia, también se pudo constatar el buen desempeño de sus trabajadores en cada uno de los puestos de trabajo, el conocimiento que estos

muestran de la actividad que realizan, así como el quehacer diario por mantener en buen estado la técnica que utilizan y la preocupación constante por darle solución a los problemas que presenten los mismos

2.3 Producción de pintura utilizando lodos residuales.

Para la fabricación de pintura económica se hace necesario proponer una formulación a partir de los lodos residuales de la Fábrica de Baldosas como materia prima fundamental, y una vez determinada la misma proceder a la evaluación de sus propiedades por lo que se propone el siguiente procedimiento estructurado en seis pasos los cuales se detallan a continuación:

Paso 1: Revisión documental

Se revisa y analiza la bibliografía disponible para extraer datos referentes a la investigación en curso.

Paso 2: Selección del disolvente

Para el desarrollo de esta investigación se selecciona como aditivo cloruro de sodio (NaCl), sal común, dado que permite conservar la humedad de la pintura.

Paso 3: Diseño de experimento factorial

Se realiza un diseño de experimento factorial multinivel, definiendo:

1. Variables independientes
2. Variables dependientes
3. Niveles de las variables

Paso 4: Ejecución de los experimentos y recopilación de datos.

Se realizan los experimentos y se procesan las variables independientes y dependientes que intervienen, se extraen los resultados para su análisis.

Paso 5: Discusión y selección de la mejor variante.

Se evalúan los resultados obtenidos en el paso anterior y se selecciona la mejor variante en cuanto a los factores definidos para la selección.

Paso 6: Elaboración de un Informe.

El informe contiene la discusión y selección de la mejor variante.

2.3.1 Variables del Proceso

La elaboración de pinturas se realizará por medio del proceso de mezclado, en el cual se debe tener en consideración las siguientes variables: el porcentaje másico de lodo, el porcentaje másico de pigmentos, el porcentaje másico de cloruro de sodio (NaCl) y el porcentaje másico de agua. Por lo tanto, afectará a las propiedades de cada formulación de pintura la adherencia, durabilidad, rentabilidad productiva, el rendimiento, la sostenibilidad, aplicabilidad, visibilidad, agresividad, el comportamiento a la intemperie y el valor de la inversión.

2.3.1.1 Variables Independientes.

En el caso estudiado las variables independientes seleccionadas son :

Sal común, % másico

Lodo residual de la baldosa, % másico

Pigmento, % másico

Agua, % másico

2.3.1.2 Variables Dependientes.

Las variables dependientes asociadas al proceso de evaluación de la pintura consideradas por los expertos para el desarrollo del método Delphi y el diseño de experimento son:

1. Adherencia
2. Durabilidad
3. Rentabilidad productiva
4. Rendimiento
5. Sostenibilidad
6. Aplicabilidad
7. Visibilidad

8. Agresividad
9. Comportamiento a la intemperie
10. Valor de la inversión

2.4 Recursos y materiales utilizados.

Insumos y equipos requeridos para la elaboración de la pintura.

Materiales sólidos

- Lodos residuales de la Fábrica de Baldosas perteneciente a la UEB Hormigón de la Empresa de Materiales de Construcción de Cienfuegos.
- Cloruro de sodio (NaCl) sal común, como aditivo.
- Pigmentos: persisten dos tonalidades amarillos y rojos.

Materiales líquidos

- Agua (H₂O), como vehículo.

Cristalería

- Probeta 100 ml, vidrio de reloj, tubos de ensayo.
- Mortero de porcelana
- Espátula
- Brocha de pelo para pintar de 3 in
- Recipientes plásticos de 450 ml para la preparación de las mezclas
- Balanza analítica

2.4.1 Método de formulación.

Para la obtención de la formulación de la pintura óptima, se efectuaron algunas pruebas de variaciones en los porcentajes de las mezclas utilizadas como se observa en la tabla 2.3, posteriormente se realizó el proceso de mezclado para la obtención de la misma.

Tabla 2.1: Formulaciones propuestas de la pintura.

T	Sal	Pigmento	Lodo residual	Agua
Experimento	% másico	% másico	% másico	% másico
1	0,03	0,05	0,15	0,77
2	0,06	0,05	0,15	0,74
3	0,03	0,1	0,15	0,72
4	0,06	0,1	0,15	0,69
5	0,03	0,05	0,2	0,72
6	0,06	0,05	0,2	0,69
7	0,03	0,1	0,2	0,67
8	0,06	0,1	0,2	0,64

2.4.2 Método de obtención de la pintura.

La obtención de la pintura a partir de los lodos residuales y otros elementos es un proceso de poca complejidad en el cual intervienen 2 operaciones unitarias como son trituración y mezclado, en la Figura 2.2 se muestra el diagrama de proceso.

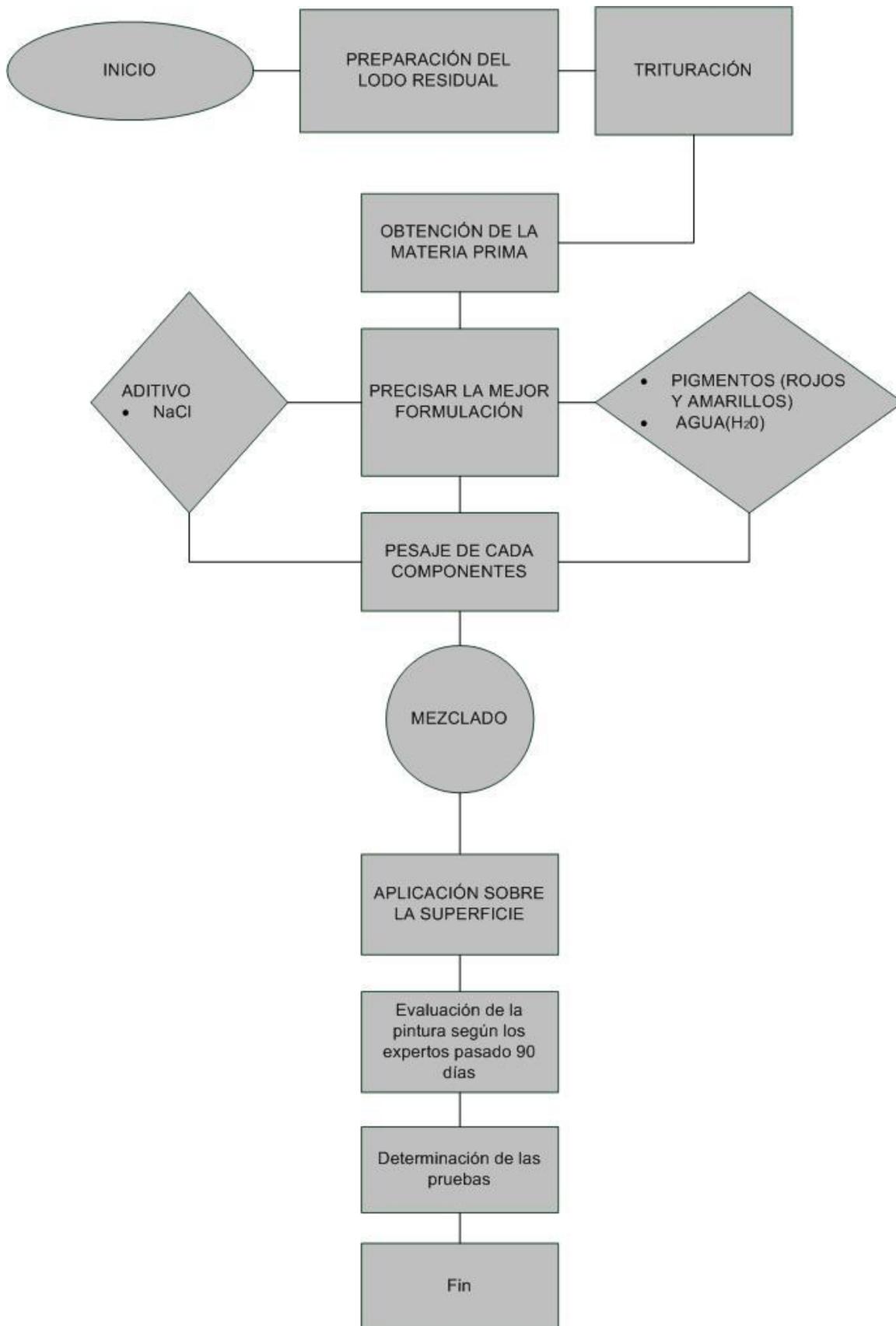


Figura 2.3 Diagrama de proceso de la obtención de pintura.

2.5 Criterio de expertos

La técnica de criterio de expertos permite ordenar criterios o factores a partir de la votación de los expertos. Tiene los siguientes pasos: selección del número de expertos elaboración de la matriz de rangos con los criterios de los expertos, a partir de la recolección de la información obtenida de las opiniones de cada experto, determinar el nivel de concordancia y realizar la validación del criterio de expertos.

2.5.1 Selección del equipo de trabajo (expertos)

Para la selección de los expertos se debe dilucidar el nivel de competencia de los candidatos, proponiéndose usar la metodología aprobada en febrero de 1971 por el Comité Estatal para la Ciencia y la Técnica de la antigua URSS para la elaboración de pronósticos científico-técnicos, la que es descrita por Oñate et al. (1988). En esta metodología la competencia se determina mediante un coeficiente K , el que se calcula como la semisuma (ecuación 2.1) de un coeficiente (K_c) que valora el nivel de conocimientos sobre el tema investigado y otro (K_a) que establece una medida de las fuentes de información.

$$\text{Ec. 2.1} \quad K = \frac{1}{2}(K_c + K_a)$$

Para estimar los coeficientes K_c y K_a se elabora una encuesta donde los candidatos realizan una autoevaluación como se muestra en el Anexo 3. Previo a esto cada candidato debe ser informado del contexto e importancia del estudio con el propósito de conseguir su compromiso. Una vez obtenidas las autoevaluaciones el coeficiente K_c se calcula como el promedio de los valores (V_c) que los candidatos les confieren a los aspectos de la encuesta (n_c) multiplicado por el factor 0,1 como se muestra en la ecuación 2.2.

$$\text{Ec. 2.2} \quad K_c = 0,1 \times \sum_{i=1}^{n_c} \frac{V_{c_i}}{n_c}$$

El coeficiente de argumentación se calcula como la sumatoria del grado de influencia de cada una de las fuentes de conocimiento de los candidatos (V_a) tal como se muestra en la

ecuación 2.3. Los valores a asignar en dependencia de la respuesta aparecen representados en la Tabla 2.1.

$$\text{Ec. 2.3} \quad K_a = \sum_{i=1}^6 V a_i$$

Debido a la escala utilizada se asegura que $K \in (0,1]$. Luego la competencia del candidato se estima en alta si $K \geq 0,8$, media si $0,5 \leq K < 0,8$ y baja si $K < 0,5$. La selección del número de expertos n se determina empleando un método probabilístico a partir de la ecuación 2.4.

$$\text{Ec. 2.4} \quad n = \frac{p \times (1 - p) \times k}{i^2}$$

Tabla 2.2. Escala para la determinación del coeficiente de argumentación

		Grado de influencia de cada una de las fuentes de argumentación		
Número	Fuentes de argumentación	Alto	Medio	Bajo
1	Análisis realizados por usted	0,3	0,2	0,1
2	Experiencia adquirida	0,5	0,4	0,2
3	Trabajos de autores nacionales que conoce	0,05	0,05	0,05
4	Trabajos de autores internacionales que conoce	0,05	0,05	0,05
5	Conocimiento propio sobre el estado del tema	0,05	0,05	0,05
6	Su intuición	0,05	0,05	0,05

En esta n representa el número de expertos, p la proporción del error que se comete al hacer estimaciones del problema con la cantidad de expertos, i la precisión del experimento y k una constante que depende del nivel de significación estadística $(1-\alpha)$ la que es obtenida a partir de la Tabla 2.2. Hay que destacar que $p \in (0,1)$ y para lograr resultados confiables se recomienda que $i \leq 0,12$. Se seleccionarán entonces para el estudio los n expertos cuyos coeficiente K sean mayores recomendándose que todos tengan una competencia alta.

Tabla 2.3 Coeficientes de significación estadística

1- α	k
99 %	6,6564
95 %	3,8416
90 %	2,6896

Tomando como base para el cálculo un error del 10%, para un nivel de confianza del 95% y el valor de i medio de 0.2 se calcula el número de expertos.

$M=8.6$ expertos, es decir, se requieren de 9 expertos para realizar el primer análisis con un 10 % de error en la estimación.

2.5.2 Elaboración de la matriz de rangos con los criterios de los expertos a partir de la recolección de la información obtenida de las opiniones de cada experto.

Al aspecto de mayor importancia se le concede 10 puntos y así en orden decreciente hasta 1 punto al de menor importancia o viceversa. Esta matriz se presenta en la Tabla 2.4 a partir de los resultados obtenidos por la encuesta a cada experto según el formato que se presenta en la tabla.

Tabla 2.4 Matriz con los datos de la desviación del valor medio

No	Requisitos	Expertos				A_{ij}	Δ
		1	2	3	4		

M es el número de expertos, A_{ij} es el juicio de importancia del experto i sobre el requisito j, Δ es la desviación del valor del medio que se calcula.

Ec. 2.5
$$\Delta = \sum A_{ij} - \tau$$

τ = factor de comparación (valor medio de los rangos) que se calcula.

$\tau = \frac{1}{2} M (K+1)$ donde K es el número de requisitos a evaluar.

2.5.3 Nivel de concordancia.

El valor que posibilita decidir el nivel de concordancia entre los expertos se determina por el estadígrafo Kendall ω . El valor ω oscila entre 0 y 1. Para valores mayores de 0.7 se debe aceptar la decisión, para valores entre 0.45 y 0.7 se debe continuar el análisis y para valores menores de 0.45 se deben rechazar las decisiones de los expertos.

Se calcula el coeficiente de concordancia de Kendall:

Ec. 2.6
$$\omega = \frac{\sum \Delta^2}{M^2} (K^3 - K)$$

2.5.4 Validación del criterio de expertos.

Se realiza una prueba de hipótesis donde:

$H_0: \omega = 0$

Para muestras grandes $k > 7$ y se utiliza de criterio de si x^2 calculado $> x^2$ tabla, α , y $f = K - 1$ se rechaza la hipótesis nula y se concluye que hay concordancia significativa entre los expertos:

$$x^2 \text{ calculado} = m(K - 1)\omega$$

Ec. 2.7

En necesario señalar que el hecho de que exista concordancia no implica que los resultados sean confiables, ya que depende en gran medida de la preparación y selección de los expertos y deben confrontarse con otras evaluaciones.

2.5.5 Método Delphi.

El método Delphi es una ligera modificación del anterior, el mismo consiste en solicitar al experto una ponderación de cada uno de los criterios con una escala preparada al efecto y se procesa la información y se prepara nuevamente la tabla.

Los resultados así obtenidos se les envía a los expertos otra vez preguntándoles si está de acuerdo con las respuestas o si requiere algún cambio. Con los resultados de la segunda respuesta de los expertos se vuelve a procesar la información y se discuten los resultados finales con ellos. En todos los casos se utilizan los criterios de concordancia de Kendall.

Tabla 2.5 Matriz de rangos con el criterio de los expertos del orden de los elementos del sistema de gestión de la calidad.

Requisitos	Ponderación del experto							$\sum A_{ij}$	Δ	Δ^2
	1	2	3	4	5	6	M			

2.6 Análisis de varianza (ANOVA).

En estadística, encontramos el concepto de análisis de Varianza (ANOVA), que consiste en una agrupación de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, donde la varianza está particionada en ciertos componentes, debido a variables explicativas diversas. Si desglosamos sus siglas en inglés, ANOVA significa: ANalysis Of VAriance (Análisis de la varianza). El Análisis de Varianza (ANOVA) es un tipo de prueba paramétrica. Esto quiere decir que deben cumplirse una serie de supuestos para aplicarla, y que el nivel de la variable de interés debe ser, como mínimo, cuantitativo (es decir, como mínimo de intervalo, por ejemplo el coeficiente intelectual, donde existe un 0 relativo).

Técnicas de análisis de varianza

Las primeras técnicas de análisis de varianza fueron desarrolladas en los años '20 y '30 por R.A. Fisher, un estadístico y genetista. Es por ello que el análisis de Varianza (ANOVA) también se conoce como “Anova de Fisher” o “análisis de varianza de Fisher”; esto también es debido al uso de la distribución F de Fisher (una distribución de probabilidad) como parte del contraste de hipótesis.

El análisis de varianza (ANOVA) surge de los conceptos de regresión lineal. La regresión lineal, en estadística, es un modelo matemático que se utiliza para aproximar la relación de dependencia entre una variable dependiente Y (por ejemplo la ansiedad), las variables independientes Xi (por ejemplo diferentes tratamientos) y un término aleatorio.

Función de esta prueba paramétrica

Es decir, se utiliza la ANOVA para contrastar hipótesis acerca de diferencias de medias (siempre más de dos). Un análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente.

Para ejecutar un ANOVA, debe tener una variable de respuesta continua y al menos un factor categórico con dos o más niveles. Los análisis ANOVA requieren datos de

poblaciones que sigan una distribución aproximadamente normal con varianzas iguales entre los niveles de factores. Sin embargo, los procedimientos de ANOVA funcionan bastante bien incluso cuando se viola el supuesto de normalidad, a menos que una o más de las distribuciones sean muy asimétricas o si las varianzas son bastante diferentes. Las transformaciones del conjunto de datos original pueden corregir estas violaciones.

Por ejemplo, usted diseña un experimento para evaluar la durabilidad de cuatro productos de alfombra experimentales. Usted coloca una muestra de cada tipo de alfombra en diez hogares y mide la durabilidad después de 60 días. Debido a que está examinando un factor (tipo de alfombra), usted utiliza un ANOVA de un solo factor.

Si el valor p es menor que el nivel de significancia, entonces usted concluye que al menos una media de durabilidad es diferente. Para información más detallada sobre las diferencias entre medias específicas, utilice un método de comparaciones múltiples como el de Tukey.

El nombre "análisis de varianza" se basa en el enfoque en el cual el procedimiento utiliza las varianzas para determinar si las medias son diferentes. El procedimiento funciona comparando la varianza entre las medias de los grupos y la varianza dentro de los grupos como una manera de determinar si los grupos son todos partes de una población más grande o poblaciones separadas con características diferentes.

El ANOVA implica un análisis o descomposición de la variabilidad total; ésta, a su vez, se puede atribuir principalmente a dos fuentes de variación:

- Variabilidad intergrupo
- Variabilidad intragrupo o error

2.6.1 Tipos de ANOVA

Existen dos tipos de análisis de varianza (ANOVA):

1. Anova I

Cuando solo existe un criterio de clasificación (variable independiente; por ejemplo, tipo de técnica terapéutica). A su vez, puede ser intergrupo (existen varios grupos experimentales) e intragrupo (existe un único grupo experimental).

2. Anova II

En este caso, hay más de un criterio de clasificación (variable independiente). Igual que en el caso anterior, esta puede ser intergrupo e intragrupo.

2.6.2 Características y supuestos

Cuando se aplica el análisis de varianza (ANOVA) en estudios experimentales, cada grupo consta de un determinado número de sujetos, siendo posible que difieran los grupos en cuanto a este número. Cuando el número de sujetos coincide, se habla de un modelo equilibrado o balanceado.

En estadística, para poder aplicar el análisis de varianza (ANOVA) deben cumplirse una serie de supuestos:

1. Normalidad

Esto quiere decir que las puntuaciones en la variable dependiente (por ejemplo la ansiedad) deben seguir una distribución normal. Este supuesto se comprueba mediante las llamadas pruebas de bondad de ajuste.

2. Independencia

Implica que no exista autocorrelación entre las puntuaciones, es decir, la existencia de independencia de las puntuaciones entre sí. Para asegurarnos del cumplimiento de este supuesto, deberemos realizar un MAS (muestreo aleatorio simple) para seleccionar la muestra que vamos a estudiar o sobre la que vamos a trabajar.

3. Homocedasticidad

Este término significa “igualdad de varianzas de las subpoblaciones”. La varianza es un estadístico de variabilidad y dispersión, y aumenta cuanto mayor sea la variabilidad o dispersión de las puntuaciones.

El supuesto de homocedasticidad se comprueba mediante la Prueba de Levene o la de Barlett. En caso de no cumplirlo, otra alternativa es realizar una transformación logarítmica de las puntuaciones.

Otros supuestos

Los supuestos anteriores deben cumplirse cuando se emplea el análisis de varianza (ANOVA) intergrupo. Sin embargo, cuando se utiliza un ANOVA intragrupo, deben cumplirse los supuestos anteriores y dos más:

1. Esfericidad

Si no se cumple, indicaría que las diferentes fuentes de error correlacionan entre sí. Una posible solución si eso pasa es realizar un MANOVA (Análisis Multivariado de la Varianza).

2. Aditividad

Supone la no interacción sujeto x tratamiento; si se incumple engrosaría la varianza error.

Tabla 2.6. Análisis de varianza ANOVA.

Propiedad Análisis ANOVA	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Promedio de Cuadrados	F	Valor teórico de F
X	Tratamientos	SSA	k - 1	$s_1^2 = \frac{SSA}{k - 1}$	$\frac{s_1^2}{s^2}$	
	Error	SSE	k(n - 1)	$s^2 = \frac{SSE}{k(n - 1)}$		
	Total	SST	kn - 1			

Fuente:(Walpole, 1999)

El procedimiento ANOVA Multifactorial en ("Statgraphics Centurion," 2007) está diseñado para construir un modelo estadístico describiendo el impacto de dos o más factores categóricos en una variable dependiente.

Se realizan pruebas para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias a diferentes niveles de los factores y si hay o no interacciones entre los factores. Los datos se desplegaron mediante una gráfica de medias (LSD de Fisher).

2.7 Conclusiones parciales

1. El desarrollo del modelo de mezcla y del método Delphi permite integrar indicadores para la selección y evaluación de los componentes de las pinturas estudiadas.
2. Las variables a considerar como salidas en el método Delphi permiten tener una idea clara de la calidad de las pinturas siendo utilizadas también como medida del mejoramiento de las mismas.
3. Las variables a considerar como como salidas en el diseño de experimento permiten tener una idea clara de cómo deben variarse las proporciones del material usado y mejorar así la calidad del producto.

CAPÍTULO III

CAPÍTULO III. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1 Introducción al capítulo

En este capítulo se describen los resultados obtenidos de la combinación de un diseño de experimentos de mezcla 2^3 con resultados sensoriales obtenidos por el método Delphi descrito en el Capítulo 2.

3.1.1 Selección de los expertos y criterios

Para calcular el número de expertos se asumió una proporción del error $p=0,01$, una precisión del experimento $i=0,2$ y nivel de significación estadística $(1-\alpha) = 95\%$ para dar como resultado que se necesitan aproximadamente 9 expertos para llevar a cabo el proceso de decisión grupal, número de expertos suficientes según autores como Pons y Ramos.

Luego de entrevistas con los expertos seleccionados se determinaron los criterios a ser usados en la evaluación de la calidad de la pintura económica. Estos se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Matriz de los expertos para la evaluación de la pintura

Variable		Experto									Observaciones
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Adherencia										Si se desprende el polvo
2	Durabilidad										estado a los 90 días
3	Rentabilidad productiva										nivel de gastos
4	Rendimiento										L/m2
5	Sostenibilidad										MP, mercado, FT, medio ambiente
6	Aplicabilidad										Si es fácil o no

																			aplicarla
7	Visibilidad																		Si es agradable a la vista
8	Agresividad																		Si es agresivo al operario
9	Comportamiento a la intemperie																		Analice a los 90 días
10	Valor de la inversión																		M\$ 50,0, M\$ 100, M\$200

En la Tabla 3.2 se muestra el diseño del método propuesto por (Ramos, 2011) y aplicado a la investigación actual con 9 expertos y 10 variables a analizar para el experimento N° 1.

Tabla 3.2 Matriz del Método Delphi para el Experimento No 1.

Alternativa	Experto									Cálculo de indicadores				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ΣA_i	ζ	Δ	Δ^2	ω
											$M(K+1)/2$	$\Sigma A_{ij} - \zeta$		$(12\Sigma\Delta^2)/M^2(K^3-K)$
1 Adherencia	8	9	9	9	10	8	8	10	9	80	↓	31	930	↓
2 Durabilidad	1	2	1	1	1	2	1	3	2	14		-36	1260	
3 Rentabilidad productiva	5	5	6	4	6	5	4	4	7	46		-4	12	
4 Rendimiento	2	2	1	1	2	2	1	1	2	14		-36	1260	
5 Sostenibilidad	3	3	4	4	4	4	6	5	5	38		-12	132	
6 Aplicabilidad	5	5	6	4	6	5	4	4	6	45		-5	20	
7 Visibilidad	2	3	4	2	3	3	3	2	3	25		-25	600	
8 Agresividad	4	4	3	2	2	3	2	2	3	25		-25	600	
9 Comportamiento a la intemperie	2	3	3	4	4	3	3	3	3	28		-22	462	
10 Valor de la inversión	5	5	3	3	4	4	6	5	5	40		-10	90	
										355	49,5	5369	0,8	
Prueba de hipótesis														
número de alternativas											K	10		
número de expertos											M	9		
chi cuadrado calculado, δx^2 calculado											M (K-1) ω	65,1		
chi cuadrado tabulado, x^2 tabulado											$X^2 (0,01,19)$	21.7		
Si x^2 calculado > x^2 tabulado, existe concordancia de criterios entre expertos														

En ella se describe el resultado del método aplicado. En la misma se muestra la opinión de los expertos para cada variable analizada, así como el comportamiento de las variables según los mismos pasados 90 días desde la aplicación de la pintura sobre la superficie exterior. También se calcula la convergencia según Kendall y la aceptación del instrumento diseñado, según la prueba de hipótesis.

Como se muestra se le concede 10 puntos al aspecto de menor calidad y así en orden decreciente hasta 1 al punto de mayor calidad.

De igual forma se determinó el coeficiente de concordancia de Kendall (ω) obteniéndose un valor de 0,8; $\omega > 0,7$ por lo que se acepta la decisión de los expertos.

Para validar el criterio de los expertos se realiza una prueba de hipótesis para muestras grandes $K > 7$, concluyéndose que χ^2 calculado $> \chi^2$ tabla; $65,1 > 21,7$ rechazándose la hipótesis nula y se concluye que hay concordancia significativa entre los expertos.

En los Anexos B se muestran los resultados del método Delphi para los 7 experimentos restantes. De los resultados obtenidos y mostrados en los mismos se obtiene por Observación Directa que los problemas en la producción de pinturas económicas se centran en la adherencia del producto. Por lo tanto en las Figuras 3.3 se muestran los resultados obtenidos y el análisis del software Statgraphics.

En la Tabla 3.3 se muestran los resultados de la combinación del diseño de experimentos con las respuestas dadas por los expertos que equivalen a las variables dependientes (la calidad obtenida) introducidos en STATGRAPHICS.Centurion.XV.v15.2.14

Tabla 3.3 Matriz del diseño de experimento combinado con las variables de calidad definidas por el Método Delphi

Número de experimento	Sal % mástico	Pigmentos % mástico	Lodo % mástico	Agua % mástico	Adherencia	Durabilidad	Rentabilidad productiva	Rendimiento	Sostenibilidad	Aplicabilidad	Visibilidad	Agresividad	Comportamiento la intemperie
1	3	5	15	77	8,88	1,55	5,11	1,55	4,2	5	2,77	2,77	
2	6	5	15	74	8,88	1,77	7,77	2,22	4,77	4,55	2,33	3	
3	3	10	15	72	8,88	2,22	4,55	1,88	4,44	4,66	2	2,77	
4	6	10	15	69	9	1,77	5,22	1,88	4,33	4,88	2	3	
5	3	5	20	72	9,11	1,55	4,77	1,88	3,88	4,55	2,55	2,77	
6	6	5	20	69	8,55	1,55	5,11	1,33	4,22	5,22	2,88	2,77	
7	3	10	20	67	9,33	1,77	5,11	1,44	4,22	4,66	2,77	2,66	
8	6	10	20	64	8,88	1,55	5,44	1,55	4,33	4,66	3,11	2,77	

Para introducir los valores de las variables de calidad se determinó el promedio de cada experimento a partir de los criterios de los 9 expertos seleccionados.

3.2 Consideraciones ambientales

A mediados del siglo xx comenzó a notarse una fuerte demanda de productos de materiales de construcción, incorporando la necesidad de extraer y procesar gran cantidad de materias primas, elaborar nuevos materiales y el tratamiento de una elevada cantidad de residuos de construcción, con el costo energético que ello representa. Actualmente el uso de materiales de construcción, con menor impacto ambiental y mayor capacidad para ser reciclados, constituye un fuerte importante, a pesar de que el interés mostrado entre algunos de los actores intervinientes en el proceso edificatorio es escaso. Dicha estrategia consiste en el uso más eficiente de los recursos materiales y energéticos. Algunos residuos industriales debido al bajo costo que presentan, facilitan que puedan ser reintegrados al proceso de producción, eliminando la carga de desechos, residuos y contaminantes que provocan daños medio ambientales. La problemática ambiental constituye en la actualidad una fuerte demanda de estrategias cada vez más exigentes, con la finalidad de minimizar los impactos ambientales provocados por la acción del hombre. Existe la necesidad de utilizar al máximo los materiales de desechos industriales como alternativa para la reducción del impacto económico, ambiental y social para así lograr un crecimiento económico del área involucrada, debido a la existencia de agua más limpia, aire más puro y un sistema controlado de disposición de residuos sólidos. El estudio propuesto es parte de esta problemática.

3.2.1 Consideraciones sociales

Los principales logros sociales que se obtendrán serán:

- La aplicación de la vinculación Universidad Empresa
- Posibilidad de vender productos económicos para la sociedad, resultantes de investigaciones destinadas a adoptar procesos productivos más limpios.
- Disminución en los costos de salud, para tratar enfermedades causadas por los focos de infección que representan los vertederos clandestinos y aguas

contaminadas, así como también una disminución de costos de tratamiento de enfermedades respiratorias causadas por la contaminación atmosférica.

- Aumento en el potencial de crecimiento urbano de la zona, por la recuperación para estos usos de zonas antes no aptas para el desarrollo urbano
- Mejoramiento de la imagen pública de la industria, tras la implementación de sistemas de abatimiento de la contaminación.

3.2.2 Consideraciones económicas

- Ahorro en costos por reutilización de un efluente tratado o materia prima reciclada; por disminución en la necesidad de mantenimiento de equipos (aire más limpio); por la venta de residuos reciclables; por cumplimiento de normas y permisos, que evita el pago de multas; por un aumento en la eficiencia de producción, fruto de un mejor conocimiento de los procesos y prácticas que generan residuos.
- Aumento del valor de las propiedades adyacentes, como consecuencia de un medio ambiente más limpio. .
- Recuperación de terrenos para usos agrícolas, urbanos u otros, antes utilizados como vertederos de residuos.
- Mejoramiento de la imagen pública de la industria, tras la implementación de sistemas de abatimiento de la contaminación.
- Progreso tecnológico nuevo como resultado de la concepción, diseño e implementación de la tecnología.

Según lo planteado anteriormente, sin dudas resulta de vital importancia un exigente cuidado al medio ambiente, de ahí, el creciente interés de realizar un amplio estudio a los residuos generados en la Fábrica de Baldosas, con fin de brindarle una creciente utilidad en la producción de pinturas. Su utilización sería únicamente como materia prima y contaría con la adición de pigmentos utilizados dentro de la misma empresa, sustituyendo significativamente el empleo de otros materiales, sin generar costos económico para la entidad. Además, se eliminarían los desechos residuales sin que provoquen daños medioambientales

CONCLUSIONES

Conclusiones

1. Existen suficientes fundamentos científicos que sustentan la investigación realizada.
2. La Metodología aplicada aseguró suficiente variabilidad en el diseño, repetitividad de los experimentos, consistencia de los resultados y validez de las conclusiones.
3. La única propiedad (variable) que no puede mejorarse en las consideraciones estudiadas es la adherencia en ninguna de los casos.
4. La producción de pinturas con los desechos sólidos de la Fábrica de Baldosas tiene implicaciones sociales debido a la recuperación y rehúso de materiales residuales, la venta económica de este producto y la recuperación de terrenos. Otra implicación beneficiosa es el mejoramiento de la visibilidad de la fábrica.
5. La producción de pinturas estudiadas tiene implicaciones ambientales debido a la eliminación de los desechos sólidos nocivos al medio ambiente.
6. La producción de pinturas estudiadas tiene implicaciones económicas ya que brinda la oportunidad de mejorar las ganancias de la fábrica.
7. La producción de pinturas estudiadas es sostenible, debido a la posibilidad de tener materia prima barata y demanda todo el año.

Recomendaciones

1. Ampliar el trabajo matemático con la modelación planteada.
2. Continuar la investigación de la producción de pinturas con residuos de la Fábrica de Baldosa aplicando una proporción de cal para tratar de mejorar la adherencia y
3. Probar otros aglutinantes comerciales como almidón o materiales sintéticos.
4. Entregar los resultados de la investigación a la Empresa de Materiales de la Construcción de Cienfuegos.

Bibliografía

- ¿Cómo se prepara la pintura de cal? (2020). Ok diario. Retrieved from <https://www.google.com/amp/s/okdiario.com/howto/como-prepara-pintura-cal-2782781/amp>
- Alonso, J. (2013). *Pinturas, barnices y afines: Composición, formulación y caracterización*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved from <http://oa.upm.es/39501/1/ControlCalidadPinturas.pdf>
- Bonilla, N. (2018). *Las 3 R's de la Gestión Integral de Residuos*. CEGESTI. Retrieved from http://municipal.cegesti.org/articulos/articulo_20_110518.pdf
- Castro, E, Garcia, J, Laloumet, E, & García, W. (1976). *Manual de la pintura en la construcción*. España: EDICIONES DEL CASTILLO. Retrieved from <https://artesdelascalesylosyesos.files.wordpress.com/2015/03/manual-pintura-en-construccion3b3n.pdf>
- Cazorla, A. (2010). *Tecnología para la producción local y aplicación de pintura cementosa* (Trabajo de Diploma). Universidad Central "Martha Abreu" de Las Villas, Santa Clara. Retrieved from <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/5342/C10075.pdf?sequence1&isAllowed=y>
- Chang, N.-B., & Pires, A. (2015). *Sustainable Solid Waste Management: A Systems Engineering Approach*. In M. Zhou (Series Ed.) IEEE Series on Systems Science and Engineering,
- Chatzinikolaou, P., Viaggi, D., & Raggi, M. (2018). Review of Multicriteria Methodologies and Tools for the Evaluation of the Provision of Ecosystem Services. In J. Berbel, T. Bournaris, B. Manos, N. Matsatsinis & D. Viaggi (Eds.), *Multicriteria Analysis in Agriculture* (pp. 43-68): Springer.
- Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management science*, 9(3), 458-467.
- De Almeida, A. T., Cavalcante, C. A. V., Alencar, M. H., Ferreira, R. J. P., de Almeida-Filho, A. T., & Garcez, T. V. (2016). *Multicriteria and multiobjective models for risk, reliability and maintenance decision analysis*. In C. rice (Series Ed.) International Series in Operations Research & Management Science, Vol. 231.

- García, I. (2017). *Diseño óptimo de experimentos para modelos de mezcla aplicados en la ingeniería y las ciencias experimentales*. (Grado de Doctor). Universidad de Castilla La Mancha, España. Retrieved from <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/16595/TESIS%20Garc%C3%ADa-Camacha%20Guti%C3%A9rrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gutiérrez, H, & Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimento* (2da edición.). México. Retrieved from <https://www.slideshare.net/lidamilena/analisis-y-diseno-de-experimentos-humberto-roman2da-edmcgrawhill-65758618>
- Gutiérrez, H, & Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimento* (3ra edición.). México. Retrieved from https://kupdf.net/download/an-aacute-lisis-y-dise-ntilde-o-de-experimentos-3a-ed-guti-eacute-rrez-h-de-la-vara-r-mcgraw-hill-m-eacute-xico2012_5af84284e2b6f5e246f8d71d_pdf
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decison Making: Methods and Applications*. New York: Springer.
- Importancia de la Producción más Limpia en IPS. (s.f). Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/170741451/capitulo1-Importancia-de-la-Produccion-mas-limpia-en-IPS>
- Indian Machine Tool Manufacturers' Association. (2015). *Compendium of Industrial Painting and Coating Processes For Machine Tools*. India. Retrieved from https://www.imtma.in/pdf/painting_mannual.pdf
- Jacobs, F. R., & Chase, R. B. (2018). *Operations and Supply Chain Management* (15 ed.). United States of America: McGraw-Hill.
- Muller, B, & Poth, U. (2011). *Coating Formulation* (Vol. II). Retrieved from <http://www.daryatamin.com/wp-content/uploads/2019/11/Coatings-Formulation.pdf>
- ONUDI. (2008). *Introducción a la Producción más Limpia*. Retrieved from https://www.unido.org/sites/default/files/2008-06/1-Textbook_0.pdf
- Ortega, D, Bustamante, M, Correa, A, & Gutiérrez, D. (2014). *Diseño de mezclas en formulaciones industriales*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/42785>

- Peña, D, Molina, C, & Cordero, M. (s.f). *Análisis del diseño de experimento en ingeniería: algunas experiencias prácticas*. Retrieved from http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/dpena/publications/castellano/1987Question_molina_cordero.pdf
- Quevedo, Y. (2017). *Evaluación de residuales del proceso de pulido de baldosas, para su uso en mezclas para morteros en el municipio de Holguín*. (Trabajo de Diploma). Universidad de Holguín Sede "Oscar Lucero Moya", Holguín. Retrieved from https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Evaluaci%C3%B3n+de+residuales+del+proceso+de+pulido+de+baldosas%2C+para+su+uso+en+mezclas+para+morteros+en+el+municipio+de+Holgu%C3%ADn.&btnG=
- Ravindran, A. R., Griffn, P. M., & Prabhu, V. V. (2018). *Service Systems Engineering and Management*. United States of America: CRC Press.
- Recchia, L., Boncinelli, P., Cini, E., Vieri, M., Pegna, F. G., & Sarri, D. (2011). *Multicriteria analysis and LCA techniques: With applications to agro-engineering problems*: Springer Science & Business Media.
- Reguant-Álvarez, M., & Torrado-Fonseca, M. (2016). El método Delphi. *REIRE, Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 9(1), 87-102.
- Sengupta, R. N. (2017). Other Decision-Making Models. In R. N. Sengupta, A. Gupta & J. Dutta (Eds.), *Decision Sciences. Theory and Practice* (pp. 233-285). United States of America: CRC Press.
- Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple attribute decision making: methods and applications*: Chapman and Hall/CRC.
- Valdés, A. (2019). *Gestión de residuos industriales y sostenibilidad. Necesidad de un enfoque de economía ecológica*. Retrieved from <https://orcid.org/0000-0002-8503-3025>
- Valladares, R. (2019). *Implementación de un sistema de gestión de energía en la Fábrica de Baldosas, UEB Empresa de Materiales de Construcción de Cienfuegos*. (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Wang, J.-J., Jing, Y.-Y., Zhang, C.-F., & Zhao, J.-H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2263-2278.
- Woodard, F, & Curran. (2001). *Industrial Waste Treatment Handbook*. Nueva Delhi, La India. Retrieved from <https://www.pdfdrive.com/industrial-waste-treatment-handbook-e6871218.html>

Zivorad, R. (2004). *Design of Experiments in Chemical Engineering*. Retrieved from https://scholar.google.com/cu/scholar?q=Design+of+Experiments+in+Chemical+Engineering&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart

ANEXOS

Anexos A.

Tabla 1. Matriz de criterios de los expertos

Variable		Experto									Observaciones
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Adherencia										Si se desprende el polvo
2	Durabilidad										estado a los 90 días
3	Rentabilidad productiva										nivel de gastos
4	Rendimiento										L/m2
5	Sostenibilidad										MP, mercado, FT, medio ambiente
6	Aplicabilidad										Si es fácil o no aplicarla
7	Visibilidad										Si es agradable a la vista
8	Agresividad										Si es agresivo al operario
9	Comportamiento a la intemperie										Analice a los 90 días
10	Valor de la inversión										M\$ 50,0, M\$ 100, M\$200

Anexos B.

Tabla 1. Matriz del Método Delphi para el Experimento No 2.

Alternativa		Experto									Cálculo de indicadores				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	ΣA_i	ζ $M(K+1)/2$	Δ $\Sigma A_{ij} - \zeta$	Δ^2	ω $(12\Sigma\Delta^2)/M^2(K^3-K)$
1	Adherencia	8	9	9	9	10	8	8	10	9	80	↓	31	930	↓
2	Durabilidad	3	2	1	1	1	2	1	3	2	16		-34	1122	
3	Rentabilidad productiva	7	6	7	7	7	7	6	7	7	61		12	132	
4	Rendimiento	3	3	2	2	2	1	2	2	3	20		-30	870	
5	Sostenibilidad	4	4	4	5	4	5	5	6	6	43		-7	42	
6	Aplicabilidad	5	4	3	4	6	3	5	5	6	41		-9	72	
7	Visibilidad	2	2	2	2	3	3	2	2	3	21		-29	812	
8	Agresividad	4	4	3	2	2	3	3	3	3	27		-23	506	
9	Comportamiento a la intemperie	2	3	3	3	3	3	3	4	4	28		-22	462	
10	Valor de la inversión	5	5	3	3	4	4	6	5	5	40		-10	90	
											377	49,5	5041	0,8	
Prueba de hipótesis															
número de alternativas											K	10			
número de expertos											M	9			
chi cuadrado calculado, $\hat{\omega}x^2$ calculado											$M(K-1)\omega$	61,1			
chi cuadrado tabulado, x^2 tabulado											$\chi^2(0,01,19)$	21.7			
Si x^2 calculado > x^2 tabulado, existe concordancia de criterios entre expertos															

Tabla 1. Matriz del Método Delphi para el Experimento No 3.

Alternativa		Experto									Cálculo de indicadores					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	ΣA_i	ζ	Δ	Δ^2	ω	
													$M(K+1)/2$	$\Sigma A_{ij} - \zeta$		$(12\Sigma\Delta^2)/M^2(K^3-K)$
1	Adherencia	8	9	9	9	10	8	8	10	9	80	↓		31	930	↓
2	Durabilidad	1	2	1	3	3	2	3	3	2	20			-30	870	
3	Rentabilidad productiva	5	5	4	4	6	5	4	4	4	41			-9	72	
4	Rendimiento	3	2	1	3	2	2	1	1	2	17			-33	1056	
5	Sostenibilidad	3	3	4	4	6	4	6	5	5	40			-10	90	
6	Aplicabilidad	5	5	3	4	6	5	4	4	6	42			-8	56	
7	Visibilidad	2	3	1	2	3	1	1	2	3	18			-32	992	
8	Agresividad	4	4	3	2	2	3	2	2	3	25			-25	600	
9	Comportamiento a la intemperie	2	3	3	4	4	3	3	3	3	28			-22	462	
10	Valor de la inversión	5	5	3	3	4	4	6	5	5	40			-10	90	
											351		49,5		5221	0,8
Prueba de hipótesis																
número de alternativas											K	10				
número de expertos											M	9				
chi cuadrado calculado, $\hat{\omega}x^2$ calculado											M (K-1) ω	63,3				
chi cuadrado tabulado, x^2 tabulado											$X^2(0,01,19)$	21.7				
Si x^2 calculado > x^2 tabulado, existe concordancia de criterios entre expertos																

Tabla 1. Matriz del Método Delphi para el Experimento No 4.

Alternativa		Experto									Cálculo de indicadores				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	ΣA_i	ζ	Δ	Δ^2	ω
												$M(K+1)/2$	$\Sigma A_{ij} - \zeta$		$(12\Sigma\Delta^2)/M^2(K^3-K)$
1	Adherencia	8	9	10	9	10	8	8	10	9	81	↓	32	992	↓
2	Durabilidad	1	2	1	3	1	2	1	3	2	16		-34	1122	
3	Rentabilidad productiva	5	6	6	4	6	5	4	4	7	47		-3	6	
4	Rendimiento	2	2	1	1	2	3	1	3	2	17		-33	1056	
5	Sostenibilidad	3	3	4	4	5	4	6	5	5	39		-11	110	
6	Aplicabilidad	5	4	6	4	6	5	4	4	6	44		-6	30	
7	Visibilidad	2	3	1	2	3	1	1	2	3	18		-32	992	
8	Agresividad	4	4	3	2	2	3	4	2	3	27		-23	506	
9	Comportamiento a la intemperie	2	3	3	4	4	3	3	3	3	28		-22	462	
10	Valor de la inversión	5	5	3	3	4	4	6	5	5	40		-10	90	
											357	49,5	5369	0,8	
Prueba de hipótesis															
número de alternativas											K	10			
número de expertos											M	9			
chi cuadrado calculado, δx^2 calculado											M (K-1) ω	65,1			
chi cuadrado tabulado, x^2 tabulado											$X^2 (0,01, 19)$	21.7			
Si x^2 calculado > x^2 tabulado, existe concordancia de criterios entre expertos															

Tabla 1. Matriz del Método Delphi para el Experimento No 5.

Alternativa		Experto									Cálculo de indicadores				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	ΣA_i	ζ	Δ	Δ^2	ω
													$M(K+1)/2$	$\Sigma A_{ij} - \zeta$	
1	Adherencia	9	10	9	9	10	8	8	10	9	82	↓	33	1056	↓
2	Durabilidad	1	2	1	1	1	2	1	3	2	14		-36	1260	
3	Rentabilidad productiva	4	4	6	4	5	5	4	4	7	43		-7	42	
4	Rendimiento	2	2	1	3	2	3	1	1	2	17		-33	1056	
5	Sostenibilidad	3	3	4	4	4	3	6	5	3	35		-15	210	
6	Aplicabilidad	5	4	6	4	3	5	4	4	6	41		-9	72	
7	Visibilidad	2	3	3	2	3	2	3	2	3	23		-27	702	
8	Agresividad	4	4	3	2	2	3	2	2	3	25		-25	600	
9	Comportamiento a la intemperie	2	5	3	4	4	5	3	6	3	35		-15	210	
10	Valor de la inversión	5	5	3	3	4	4	6	5	5	40		-10	90	
											355	49,5		5301	0,8
Prueba de hipótesis															
número de alternativas												K	10		
número de expertos												M	9		
chi cuadrado calculado, δx^2 calculado												M (K-1) ω	64,2		
chi cuadrado tabulado, x^2 tabulado												$X^2 (0,01, 19)$	21.7		
Si x^2 calculado > x^2 tabulado, existe concordancia de criterios entre expertos															

Tabla 1. Matriz del Método Delphi para el Experimento No 6.

Alternativa		Experto									Cálculo de indicadores				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	ΣA_i	ζ	Δ	Δ^2	ω
												$M(K+1)/2$	$\Sigma A_{ij} - \zeta$		$(12\Sigma\Delta^2)/M^2(K^3-K)$
1	Adherencia	8	8	8	8	10	8	8	10	9	77	↓	28	756	↓
2	Durabilidad	1	2	1	1	1	2	1	3	2	14		-36	1260	
3	Rentabilidad productiva	5	5	6	4	6	5	4	4	7	46		-4	12	
4	Rendimiento	1	1	1	1	2	2	1	1	2	12		-38	1406	
5	Sostenibilidad	3	3	4	4	4	4	6	5	5	38		-12	132	
6	Aplicabilidad	5	5	6	4	6	5	5	5	6	47		-3	6	
7	Visibilidad	2	3	4	4	3	3	2	2	3	26		-24	552	
8	Agresividad	4	4	3	2	2	3	2	2	3	25		-25	600	
9	Comportamiento a la intemperie	2	3	3	4	4	4	4	3	3	30		-20	380	
10	Valor de la inversión	5	5	3	3	4	4	6	6	6	42		-8	56	
											357	49,5	5163	0,8	
Prueba de hipótesis															
número de alternativas											K	10			
número de expertos											M	9			
chi cuadrado calculado, $\hat{\omega}x^2$ calculado											M (K-1) ω	62,6			
chi cuadrado tabulado, x^2 tabulado											$X^2(0,01,19)$	21.7			
Si x^2 calculado > x^2 tabulado, existe concordancia de criterios entre expertos															

Tabla 1. Matriz del Método Delphi para el Experimento No 7.

Alternativa		Experto									Cálculo de indicadores					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	ΣA_i	ζ	Δ	Δ^2	ω	
													$M(K+1)/2$	$\Sigma A_{ij} - \zeta$		$(12\Sigma\Delta^2)/M^2(K^3-K)$
1	Adherencia	8	9	9	9	10	10	10	10	9	84	↓		35	1190	↓
2	Durabilidad	1	2	2	1	2	2	1	3	2	16			-34	1122	
3	Rentabilidad productiva	5	5	5	5	6	5	4	4	7	46			-4	12	
4	Rendimiento	2	2	1	1	2	2	1	1	1	13			-37	1332	
5	Sostenibilidad	3	3	4	4	4	4	6	5	5	38			-12	132	
6	Aplicabilidad	5	5	6	4	4	4	4	4	6	42			-8	56	
7	Visibilidad	2	3	4	2	3	3	3	2	3	25			-25	600	
8	Agresividad	4	4	3	2	2	2	2	2	3	24			-26	650	
9	Comportamiento a la intemperie	2	3	3	4	4	3	3	3	3	28			-22	462	
10	Valor de la inversión	3	5	4	3	4	4	6	5	5	39			-11	110	
											355		49,5		5669	0,8
Prueba de hipótesis																
número de alternativas											K	10				
número de expertos											M	9				
chi cuadrado calculado, $\hat{\omega}x^2$ calculado											M (K-1) ω	68,7				
chi cuadrado tabulado, x^2 tabulado											$X^2(0,01,19)$	21.7				
Si x^2 calculado > x^2 tabulado, existe concordancia de criterios entre expertos																

Tabla 1. Matriz del Método Delphi para el Experimento No 8.

Alternativa		Experto									Cálculo de indicadores						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	ΣA_i	ζ	Δ	Δ^2	ω		
													$M(K+1)/2$	$\Sigma A_{ij} - \zeta$		$(12\Sigma\Delta^2)/M^2(K^3-K)$	
1	Adherencia	8	9	9	9	10	8	8	10	9	80	↓		31	930	↓	
2	Durabilidad	1	2	1	1	1	2	1	3	2	14			-36	1260		
3	Rentabilidad productiva	5	5	6	4	6	5	4	7	7	49			-1	0		
4	Rendimiento	2	2	1	1	2	2	1	1	2	14			-36	1260		
5	Sostenibilidad	3	3	4	4	4	4	6	6	5	39			-11	110		
6	Aplicabilidad	5	5	6	4	4	4	4	4	6	42			-8	56		
7	Visibilidad	2	3	4	4	4	3	3	2	3	28			-22	462		
8	Agresividad	4	4	3	2	2	3	2	2	3	25			-25	600		
9	Comportamiento a la intemperie	2	3	3	4	4	4	4	4	3	31			-19	342		
10	Valor de la inversión	5	5	3	3	4	6	6	6	6	44			-6	30		
											366		49,5		5053		0,8
Prueba de hipótesis																	
número de alternativas											K	10					
número de expertos											M	9					
chi cuadrado calculado, $\hat{\omega}x^2$ calculado											M (K-1) ω	61,2					
chi cuadrado tabulado, x^2 tabulado											$X^2(0,01,19)$	21.7					
Si x^2 calculado > x^2 tabulado, existe concordancia de criterios entre expertos																	

Anexo C

Figura 1. Morteros de porcelana usados en la producción de pintura económica.



Figura 2. Vidrios de reloj usados en la producción de pintura económica.



Figura 3. Probeta usada en la producción de pintura económica.

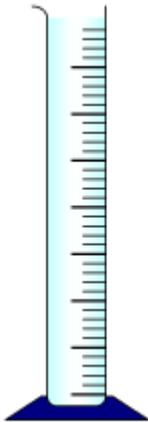


Figura 4. Balanza analítica usada en la producción de pintura económica.



Figura 5. Componentes usados en la producción de pintura económica.



Figura 6. Mezclas obtenidas en la producción de pintura económica.



Figura 7. Área de trabajo para la producción de pintura económica.



Figura 8. Muestras en tubos de ensayo de la pintura económica.



Figura 9. Aplicación de la pintura económica sobre la superficie



