



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN MORTERO FINO TIPO REPELLO CON
ACABADO ALISADO Y PROPIEDADES DE HIDROFOBICIDAD PARA UNA
EMPRESA DE ACABADOS DE LA CONSTRUCCIÓN**

José Luis Guerrero García

Asesorado por el Ing. Víctor Hugo Echeverría

Guatemala, julio de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN MORTERO FINO TIPO REPELLO CON
ACABADO ALISADO Y PROPIEDADES DE HIDROFOBICIDAD PARA UNA
EMPRESA DE ACABADOS DE LA CONSTRUCCIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSÉ LUIS GUERRERO GARCÍA

ASESORADO POR EL ING. VÍCTOR HUGO ECHEVERRÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JULIO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdés
EXAMINADORA	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN MORTERO FINO TIPO REPELLO CON ACABADO ALISADO Y PROPIEDADES DE HIDROFOBICIDAD PARA UNA EMPRESA DE ACABADOS DE LA CONSTRUCCIÓN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 28 de noviembre de 2009.



José Luis Guerrero García

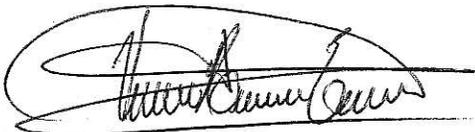
Guatemala, 29 de septiembre de 2011

Ing. William Álvarez
Director Escuela de Ingeniería Química
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Presente.-

Por medio de la presente, hago constar que el estudiante José Luis Guerrero García, quien se identifica con número de carné 200412618 elaboró satisfactoriamente su Informe Final de EPS "Diseño y evaluación de un mortero fino tipo repello con acabado alisado y propiedades de hidrofobicidad para una empresa de acabados de la construcción".

Sin otro particular, y agradeciéndole de antemano su colaboración.

Atentamente,



Victor Hugo Echeverría
Colegiado Activo No. 1246



Guatemala, 17 de octubre de 2011.
Ref.EPS.DOC.1352.10.11.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **José Luis Guerrero García** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **200412618**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UN MORTERO FINO TIPO REPELLO CON ACABADO ALISADO Y PROPIEDADES DE HIDROFOBICIDAD PARA UNA EMPRESA DE ACABADOS DE LA CONSTRUCCIÓN”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Química

c.c. Archivo
LVPC/ra





Guatemala, 17 de octubre de 2011.

Ref.EPS.D.928.10.11.

Ing. Williams G. Alvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

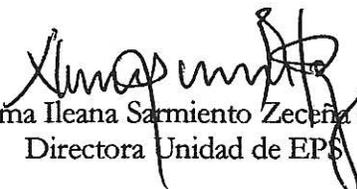
Estimado Ingeniero Alvarez Mejía.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UN MORTERO FINO TIPO REPELLO CON ACABADO ALISADO Y PROPIEDADES DE HIDROFOBICIDAD PARA UNA EMPRESA DE ACABADOS DE LA CONSTRUCCIÓN"** que fue desarrollado por el estudiante universitario José Luis Guerrero García, quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora -Supervisora de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Norma Ileana Sarmiento Zecena de Serrano
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 16 de abril de 2012
Ref. EI.Q.TG-IF.017.2012

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-133-2010-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad EPS-**

Solicitado por el estudiante universitario: **José Luis Guerrero García**

Identificado con número de carné: **2004-12618**

Previo a optar al título de INGENIERO QUÍMICO.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN MORTERO FINO TIPO REPELLO CON ACABADO
ALISADO Y PROPIEDADES DE HIDROFOBICIDAD PARA UNA EMPRESA DE
ACABADOS DE LA CONSTRUCCIÓN**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero: **Victor Hugo Echeverría.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

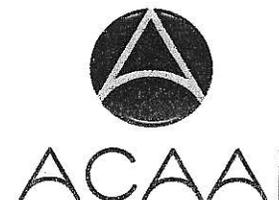
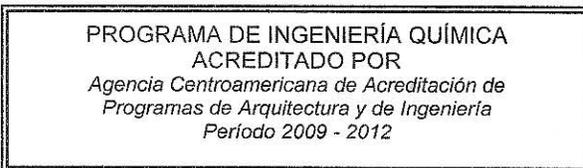
"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Víctor Manuel Monzón
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo





El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado (**EPS final**) del estudiante **JOSÉ LUIS GUERRERO GARCÍA** titulado: **"DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN MORTERO FINO TIPO REPELLO CON ACABADO ALISADO Y PROPIEDADES DE HIDROFOBICIDAD PARA UNA EMPRESA DE ACABADOS DE LA CONSTRUCCIÓN"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



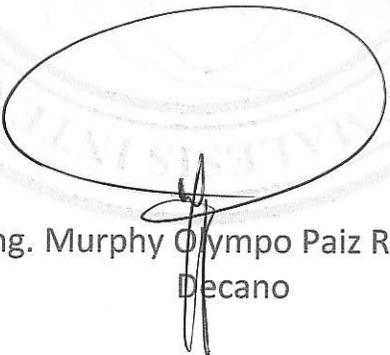
Guatemala, julio de 2012

Cc: Archivo
VMMV/ale



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN MORTERO FINO TIPO REPELLO CON ACABADO ALISADO Y PROPIEDADES DE HIDROFOBICIDAD PARA UNA EMPRESA DE ACABADOS DE LA CONSTRUCCIÓN**, presentado por el estudiante universitario **José Luis Guerrero García**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 25 de julio de 2012.

/gdech



AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la sabiduría y la perseverancia para alcanzar cada meta propuesta a lo largo de mi vida.
Mis padres	Por cada esfuerzo y apoyo para invertir en mi educación y lograr alcanzar mi meta profesional.
Mis amigos	Por cada minuto de trabajo, estudio y recreación compartido a lo largo de la carrera, que hicieron de este proyecto uno de los logros más anhelados.
Ing. Víctor Hugo Echeverría	Por su asesoría y consejos en la realización del presente trabajo de graduación.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi alma Mater de conocimientos y enseñarme el compromiso social con mi país Guatemala.
Facultad de Ingeniería	Por haberme forjado como profesional de la ingeniería.

**Escuela de Ingeniería
Química**

Por haberme dado cada uno de los conocimientos para poder aplicarlos con responsabilidad individual y social en el campo científico.

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser mi guía para cada sueño, esfuerzo y meta alcanzada.
- Virgen María** Por tu protección e intercesión en todas mis oraciones para alcanzar cada uno de mis propósitos.
- Mis padres** Luis Alfonso Guerreo y María Silva García de Guerrero, por darme la vida, su dedicación, su esfuerzo, su amor y sobretodo apoyo para cumplir con este proyecto.
- Mi hermano** Omar Alfonso Guerrero, por ser uno de mis mayores ejemplos y parte fundamental de mi vida.
- Mis amigos** Porque el significado de amistad tiene un gran valor en mi vida. Amigo es un tiempo bien dedicado y esos momentos son los que te fortalecen y hacen de las experiencias la señal de que puedo contar con ustedes siempre.
- Mi tío y amigo** Mario Rodolfo Sáenz Calito, por ser mi ángel y guía en cada momento tanto de éxito como de fracaso y ser mi apoyo para perseverar en los momentos más difíciles.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS / HIPÓTESIS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. MARCO CONCEPTUAL	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	3
1.3. Determinación del problema	4
1.3.1. Definición	5
1.3.2. Delimitación	6
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Diseño y desarrollo	7
2.1.1. Planificación del diseño y desarrollo	8
2.1.2. Elementos de entrada para el diseño y desarrollo	8
2.1.3. Resultados del diseño y desarrollo	9
2.1.4. Revisión del diseño y desarrollo	10
2.1.5. Verificación del diseño y desarrollo	10
2.1.6. Validación del diseño y desarrollo	10
2.1.7. Control de cambios de diseño y desarrollo	11
2.2. Morteros	11
2.2.1. Tipos y usos	12

	2.2.1.1.	Morteros calcáreos	12
	2.2.1.2.	Morteros de cemento Portland y cal ...	13
	2.2.1.3.	Morteros de cemento.....	13
2.2.2.		Propiedades de los morteros.....	14
	2.2.2.1.	Propiedades en estado plástico.....	14
	2.2.2.2.	Propiedades en estado endurecido	16
2.3.		Composición de los morteros	19
2.3.1.		Aglomerantes	19
	2.3.1.1.	Cemento	19
2.3.2.		Agregados	20
	2.3.2.1.	Granulometría o mesh de los agregados.....	20
	2.3.2.2.	Cal	22
2.3.3.		Aditivos.....	22
	2.3.3.1.	Éteres	22
	2.3.3.2.	Celulosa.....	23
	2.3.3.3.	Éteres de celulosa	23
	2.3.3.4.	Polímeros redispersables	24
	2.3.3.5.	Fibras naturales de celulosa	25
2.3.4.		Agua	26
	2.3.4.1.	Agua de mezclado	26
	2.3.4.2.	Agua de curado	26
2.4.		Condiciones de aplicación de un mortero.....	27
2.5.		Indicadores de la industria de la construcción en Guatemala..	28
	2.5.1.	Fabricados en obra	28
	2.5.2.	Premezclados.....	29
	2.5.3.	Predosificados.....	29
2.6.		Métodos de ensayo	29
	2.6.1.	Resistencia a la adhesión.....	30

2.6.1.1.	Preparación y conservación de las probetas para ensayo	30
2.6.1.2.	Procedimiento	32
2.6.1.3.	Cálculo y expresión de resultados	33
2.6.2.	Impermeabilidad	34
2.6.2.1.	Método de Karsten.....	35
2.7.	Producción y equipo para fabricar un mortero	37
2.8.	Diagrama de flujo de proceso	38
2.8.1.	Simbología del diagrama de flujo.....	39
2.8.2.	Diagrama de flujo del proceso de producción.....	40
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	43
3.1.	Variables	43
3.2.	Delimitación del campo de resultados.....	44
3.3.	Recursos humanos disponibles.	44
3.4.	Recursos materiales disponibles	45
3.5.	Técnica cualitativa y cuantitativa.....	46
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	46
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de información	46
3.8.	Análisis estadístico	47
4.	RESULTADOS.....	49
4.1.	Formulación y resultados obtenidos	49
4.2.	Ensayos mezcla húmeda	50
4.3.	Ensayos permeabilidad.....	52
4.4.	Gráficas de resultados	53

5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	55
5.1.	Análisis de varianza de un factor después de 14 días.....	55
5.2.	Hipótesis estadística.....	56
5.3.	Análisis de varianza de un factor después de 28 días.....	56
5.4.	Hipótesis estadística.....	58
5.5.	Análisis de varianza de un factor para el porcentaje de permeabilidad	58
5.6.	Hipótesis estadística.....	59
6.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	61
	CONCLUSIONES.....	65
	RECOMENDACIONES	67
	BIBLIOGRAFÍA.....	69
	APÉNDICES.....	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Procedimiento ensayo resistencia a la adhesión	33
2.	Procedimiento ensayo método de Karsten	37
3.	Producción y equipo para fabricar un mortero	38
4.	Proceso de producción	40
5.	Resistencia a la adhesión después de 14 y 28 días	54
6.	Porcentaje de permeabilidad	54

TABLAS

I.	Granulometría de los agregados finos para morteros.....	21
II.	Relación velocidad del viento-altura columna de agua.....	36
III.	Simbología diagrama de flujo	39
IV.	Resumen diagrama de flujo	41
V.	Descripción variables involucradas.....	43
VI.	Descripción variables a manipular	44
VII.	Equipo y material que será indispensable para el desarrollo del proyecto	45
VIII.	Registro, formulación y reformulación de producto.....	49
XI.	Resultados mezcla húmeda utilizando 0,09% de éter de celulosa	50
X.	Resultados mezcla húmeda utilizando 0,11% de éter de celulosa	51

XI.	Resultados mezcla húmeda utilizando 0,13% de éter de celulosa	51
XII.	Porcentaje de permeabilidad utilizando 0,09% de éter de celulosa	52
XIII.	Porcentaje de permeabilidad utilizando 0,11% de éter de celulosa	52
XIV.	Porcentaje de permeabilidad utilizando 0,13% de éter de celulosa	53
XV.	Resumen análisis de varianza resistencia a la adhesión después de 14 días.....	55
XVI.	Análisis de varianza resistencia a la adhesión después de 14 días	56
XVII.	Resumen análisis de varianza resistencia a la adhesión después de 28 días.....	57
XVIII.	Análisis de varianza resistencia a la adhesión después de 28 días	57
XIX.	Resumen análisis de varianza porcentaje de permeabilidad	58
XX.	Análisis de varianza porcentaje de permeabilidad	59

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
HP	Caballos de fuerza
Fu	Carga de rotura
cm	Centímetro
α	Desviación estándar
H₁	Hipótesis nula
kg	kilogramo
kg/m³	kilogramo por metro cúbico
km/h	kilometro por hora
L	Litros
L/m²	Litros por metro cuadrado
\bar{X}	Media

m³	Metros cúbicos
mm	Milímetros
mm²	Milímetros cuadrados
N/mm²	Newton por milímetros cuadrados
No	Número
%	Porcentaje
fu	Resistencia a la adhesión
Σ	Sumatoria

GLOSARIO

Adherencia	Propiedad de la mezcla adherente de resistir tensiones normales y tangenciales que actúan en el sistema recubrimiento-adhesivo-sustrato y que indica qué tan bien está adherido el recubrimiento al sustrato.
Agregados	Material granular inerte tal como la arena natural, arena artificial, grava y roca triturada que se utiliza para elaborar mortero o concreto.
Celulosa	Forma las membranas de las células vegetales, se utiliza para fabricar papel, seda artificial, etcétera.
Curado	Endurecido.
COGUANOR	Siglas de la Comisión Guatemalteca de Normas.
Eflorescencia	Depósitos de sales blancas que se forman en la superficie de un elemento constructivo, causadas por el paso del agua a través de él.
Fraguado	Pérdida de plasticidad del adhesivo producido por la reacción del cemento con el agua.

Granulometría	Tamaño y distribución de partículas sólidas.
Impermeabilidad	Capacidad de resistir el paso del agua.
Mortero	Mezcla de cemento, agregados y aditivos en polvo a los cuales se les agrega agua para preparar una mezcla.
Proporción de agua	Cantidad de agua recomendada para preparar la mezcla de un adhesivo que garantice las propiedades para las que fueron diseñados.
Tiempo abierto	Tiempo disponible para que el instalador coloque el recubrimiento, contando a partir del momento en que se extiende el mortero sobre el sustrato y antes de la formación de película.
Trabajabilidad	Facilidad para aplicar y distribuir un mortero sobre el sustrato.
Recubrimiento	Material con el que será recubierto el sustrato.
Rendimiento	Número de metros cuadrados de recubrimiento que se pueden instalar con una unidad de producto.
Resina	Producto sólido que forma una película al mezclarse con el agua e incrementa la adherencia de los morteros.

RESUMEN

En este trabajo se presenta el desarrollo y evaluación de un mortero fino tipo repello con propiedades en su acabado alisado y repelencia al agua con el propósito de crear e innovar en el catálogo de una empresa de acabados de la construcción, satisfaciendo nuevas necesidades de los consumidores y generando competencia en el mercado.

Para la realización del estudio se investigaron y seleccionaron los componentes que cumplen con los requisitos funcionales, formulando mediante la combinación de porcentajes de las materias primas constantes y variables en el producto.

Con este propósito se realizaron ensayos de adherencia y permeabilidad, correspondientes a pruebas de laboratorio descritas en la Norma UNE-EN 1015-12 y en el Método de Karsten, evaluando mediante un proceso estadístico la diferencia significativa entre las distintas formulaciones.

OBJETIVOS

General

Desarrollar y evaluar un mortero fino tipo repello para paredes con acabado liso, adherencia óptima y propiedades de repelencia al agua diseñando su proceso de manufactura y realizando los ensayos pertinentes según la norma española UNE-EN 1015-12.

Específicos

1. Formular por medio de la combinación de porcentajes de las materias primas constantes y variables involucradas en el producto.
2. Ensayar la resistencia a la adhesión de las formulaciones mediante la norma española UNE-EN 1015-12, en función de los tiempos de curado.
3. Ensayar la permeabilidad de las formulaciones mediante el método de Karsten.
4. Evaluar mediante un proceso estadístico la diferencia significativa entre las formulaciones, según la resistencia a la adhesión mediante la norma española UNE-EN 1015-12.

HIPÓTESIS

Es posible la formulación de un mortero fino tipo repello para pared con propiedades de adherencia e hidrofobicidad, mediante la combinación de materias primas constantes y éter de celulosa, fibra de celulosa y polvo redispersable.

Hipótesis estadística

Ho: no existe diferencia significativa en el parámetro de resistencia de la adhesión en las distintas formulaciones de un mortero fino tipo repello para pared con propiedades de adherencia e hidrofobicidad.

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 0$$

H1: existe una diferencia significativa en el parámetro de resistencia a la adhesión en las distintas formulaciones de un mortero fino tipo repello para pared con propiedades de adherencia e hidrofobicidad.

$$\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 0$$

INTRODUCCIÓN

La construcción es una industria que se mantiene en constante transformación debido a las nuevas tendencias, buscando siempre la resistencia, durabilidad y estética de cualquier producto a utilizar. Entre la amplia gama de productos, se encuentra la línea de repellos, los cuales son pastas de grano fino compuestas por cemento, cal, carbonato de calcio y compuestos químicos, los cuales se utilizan para enlucir paredes y techos.

Mediante ensayos realizados a morteros, se ha determinado que el tipo de acabado, se obtiene mediante la finura del grano de carbonato de calcio a utilizar en distintas proporciones de tamiz. De igual manera, la adición de componentes químicos tipo celulosas y éteres mejoran no sólo la adherencia, sino también, le generan propiedades al producto como la retención de agua, trabajabilidad, durabilidad y resistencia.

El presente estudio por medio del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), evalúa la norma UNE referente a la resistencia a la adhesión y el método Karsten como ensayo de permeabilidad para lograr obtener un producto que cumpla con los requerimientos funcionales, integrando la investigación, el servicio técnico profesional y la enseñanza aprendizaje en un proceso empírico con la carrera que se ha estudiado, en el cual se relaciona la formación académica y la experiencia práctica.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

Las primeras estructuras de mampostería fueron construidas con piedra y morteros de barro; más tarde vinieron los morteros de arcilla y luego se descubrió que el cemento y la cal producían un excelente aglomerante. El mortero de cemento, cal y arena fue usado en la construcción de mampostería hasta poco antes de la aparición del cemento Portland a mediados del siglo XIX.

Sin ningún género de dudas, los morteros modernos han estado marcados por el descubrimiento del cemento. El progresivo perfeccionamiento en su fabricación y normalización, unido a que el cemento produce con medios y criterios industriales que garantizan siempre una cierta homogeneidad y constancia de sus calidades y unido también al más rápido desarrollo de un alto potencial conglomerante, supuso una ventaja adicional sobre las cales de la época, fabricadas con sistemas artesanales y cuyas calidades muy individualizadas solían depender de la habilidad del calero y de la naturaleza geológica de las canteras de calizas.

Todo ello, explica la disminución y el progresivo abandono del consumo de la cal en la ejecución de morteros y hormigones, a pesar de que hasta entonces había sido el conglomerante principal e indiscutible durante milenios de la historia humana.

En la actualidad, la introducción a los morteros de conglomerantes de naturaleza orgánica polimérica que sustituyen o acompañan a los tradicionales inorgánicos, de aditivos y adiciones para mejorar determinadas propiedades del mismo y de áridos de origen artificial, han dado lugar al desarrollo de una gran variedad de morteros que tratan de cubrir las necesidades constructivas.

En el 2006, Carlos Eduardo Sabá Medrano, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó la investigación de tesis titulada Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de morteros de albañilería, en este trabajo se presenta una breve descripción de los componentes, usos, clasificación y propiedades de los morteros, así como la evaluación de algunas propiedades físico-mecánicas en estado fresco y endurecido a tres tipos de mortero de albañilería utilizados en el medio con y sin adiciones de cal.

En el 2006, Kenneth Alejandro Molina Escobar, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó la investigación de tesis titulada Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escorias de horno, en este trabajo se trabajaron y caracterizaron bajo especificaciones de la Norma ASTM C-595 dos cementos mezclados con escoria de horno, seleccionando aquel que tuvo mejores resultados y con este elaborar morteros de albañilería y revestimiento.

1.2. Justificación

Con el fin de mejorar e innovar como empresa para mantener y ampliar su mercado, una organización busca incursionar con nuevos productos mejorados. Grupo Industrial Cinco S.A. es una empresa completamente guatemalteca en la que la expansión y la demanda de sus productos se verá reflejada en fuentes de trabajo y el crecimiento de una marca nacional en la cual la investigación de nuevas tendencias significarán avances en la invención de nuevos productos que cubran las recientes exigencias del cliente en el campo de la construcción en busca de mejores y novedosas obras, en este caso un repello alisado hidrofóbico.

La colaboración y el trabajo directo del Ingeniero Químico en la formulación de nuevos productos que se adapten a las necesidades del consumidor mediante el uso de sus conocimientos basados en la naturaleza de las propiedades químicas, físicas y mecánicas de los componentes, materias primas, producto final, las operaciones unitarias y el establecimiento de un proceso productivo a nivel industrial.

En el área de la construcción, existen diversos tipos de acabado en repellos. Dentro de estos se determinó que existe la posibilidad de crear un repello que su acabado sea liso completamente. Observando que es una opción práctica, ya que el producto sería de fácil aplicación con mejoras en el tiempo de construcción de las obras, debido a que el producto daría un aspecto en el que no se incurriría en gastos de pintura.

Ante los problemas causados por la penetración de agua en los repellos, teniendo un impacto en el acabado y calidad del producto, el tiempo de vida útil de estos se ha reducido. Por esta razón, la empresa se interesó en la investigación de materias primas como éteres de celulosa y estearatos, los cuales tienen la capacidad de brindarle una propiedad de hidrofobicidad al producto terminado. Teniendo conocimiento de la función de estas materias primas, se hace necesario determinar la dosificación adecuada en la formulación, con la cual se busca un producto nuevo rentable para la empresa a través de su calidad y costos de fabricación.

Para llevar a cabo este tipo de procesos, la empresa se ve en la necesidad de crear un Área de Desarrollo. Ante la alta competencia existente en el mercado de la construcción, las empresas están constantemente innovando con productos nuevos. Por lo que es importante y necesario que empresas como Grupo Industrial Cinco S.A. puedan competir en el mercado, lanzando productos que satisfagan las necesidades cada vez más exigentes de los clientes.

1.3. Determinación del problema

A través del estudio de la carrera de Ingeniería Química se adquieren los conocimientos y las bases teóricas, que fundamentarán el desarrollo de la labor del Ingeniero Químico en el ámbito profesional práctico.

1.3.1. Definición

La idea de realizar el proyecto de EPS se origina a partir de la necesidad de fortalecer la formación profesional mediante un proyecto que integre y aplique los conocimientos adquiridos durante la carrera, con lo que se confronta la teoría con la práctica en un campo real de aplicación de la Ingeniería Química.

Grupo Industrial Cinco S.A. pertenece a un grupo de empresas dedicadas a la fabricación de adhesivos especializados. Esta se dedica a producir adhesivos y acabados para la construcción, basándose en calidad y atendiendo las necesidades de los clientes. Los productos Inducisa son distribuidos en Guatemala, El Salvador y Honduras.

Con la visión de ser una empresa a nivel nacional e internacional líder en la elaboración de adhesivos y acabados para paredes, se moderniza constantemente para ofrecer productos de excelente calidad.

El proyecto denominado Desarrollo y evaluación de un mortero fino tipo repello con acabado alisado y propiedades de hidrofobicidad para una empresa de acabados de la construcción se crea a partir de la necesidad de crecimiento y desarrollo de la compañía, mediante el ofrecimiento a sus clientes un nuevo producto que cumpla con las tendencias del mercado garantizando la calidad de este. El repello es una pasta de grano fino que se utiliza para enlucir paredes y techos, este admite muchos tratamientos entre los que destacan el moldeado y tallado. Ante la demanda del mercado de la construcción, el cual solicita un repello con acabado alisado y que cumpla con la propiedad de hidrofobicidad, en la cual se restringe el paso de agua para que esta no afecte su estructura interna.

1.3.2. Delimitación

La investigación se realizó por medio de los parámetros del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) modalidad 6 meses, con el apoyo y supervisión de un asesor técnico. Las actividades consisten en el desarrollo de un nuevo producto por medio de las distintas variaciones de porcentajes de cada materia hasta obtener la formulación óptima que cumpla con las propiedades funcionales buscadas como la adherencia e impermeabilidad. Estas fueron evaluadas mediante un modelo estadístico.

La presente investigación se llevó a cabo en la empresa Grupo Industrial Cinco S.A., que se encuentra ubicada en la 1ra. calle 0-50 zona 1 Boca del Monte, Villa Canales, Guatemala; ya que cuenta con las materias primas, personal y equipo necesario tanto de laboratorio como de producción para desarrollar y evaluar el mismo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Diseño y desarrollo

El diseño y desarrollo de nuevos productos es crucial para la supervivencia de la mayoría de las empresas. Aunque existen algunas firmas que experimentan muy poco cambio en sus productos, la mayoría de las compañías deben revisarlas en forma constante. En las industrias que cambian con rapidez, la introducción de nuevos productos es una forma de vida y se han desarrollado enfoques muy sofisticados para presentar nuevos productos.

Los nuevos productos se ven limitados por las operaciones existentes y la tecnología, por lo tanto, resulta extremadamente importante comprender el proceso de diseño de nuevos productos así como su interacción con las operaciones.

La definición de producto es el resultado del desarrollo de una estrategia empresarial. Por ejemplo, la estrategia empresarial podría exigir una línea de productos completa para servir a un sector particular de los clientes. Como resultado, se definirán nuevos productos para completar el catálogo.

El diseño del producto es un prerrequisito para la producción al igual que el pronóstico de volumen. El resultado de la decisión del diseño del producto se transmite a operaciones en forma de especificaciones del producto. En estas especificaciones se indican las características que se desea tenga el producto y así se permite que se proceda con la producción.

2.1.1. Planificación del diseño y desarrollo

La organización debe planificar y controlar el diseño y desarrollo del producto. Durante la planificación del diseño y desarrollo, la organización debe determinar:

- Las etapas del diseño y desarrollo.
- La revisión, verificación y validación, apropiadas para cada etapa del diseño y desarrollo.
- Las responsabilidades y autoridades para el diseño y desarrollo.

La organización debe gestionar las interfaces entre los diferentes grupos involucrados en el diseño y desarrollo para asegurarse de una comunicación eficaz y una clara asignación de responsabilidades.

Los resultados de la planificación deben actualizarse, según sea apropiado, a medida que progresa el diseño y desarrollo.

2.1.2. Elementos de entrada para el diseño y desarrollo

Deben determinarse los elementos de entrada relacionados con los requisitos del producto y mantenerse registros. Estos elementos de entrada deben incluir:

- Los requisitos funcionales y de desempeño.
- Los requisitos legales y reglamentarios aplicables.

- La información proveniente de diseños previos similares, cuando sea aplicable.
- Cualquier otro requisito esencial para el diseño y desarrollo.

Estos elementos deben revisarse para verificar su adecuación. Los requisitos deben estar completos, sin ambigüedades y no deben ser contradictorios.

2.1.3. Resultados del diseño y desarrollo

Los resultados del diseño y desarrollo deben proporcionarse de tal manera que permitan la verificación respecto a los elementos de entrada para el diseño y desarrollo y deben aprobarse antes de su liberación.

Los resultados del diseño y desarrollo deben:

- Cumplir los requisitos de los elementos de entrada para el diseño y desarrollo.
- Proporcionar información apropiada para la compra, la producción y la prestación del servicio.
- Contener o hacer referencia a los criterios de aceptación del producto.
- Especificar las características del producto que son esenciales para el uso seguro y correcto.

2.1.4. Revisión del diseño y desarrollo

En las etapas adecuadas, deben realizarse revisiones sistemáticas del diseño y desarrollo de acuerdo con lo planificado.

- Evaluar la capacidad de los resultados de diseño y desarrollo para cumplir los requisitos.
- Identificar cualquier problema y proponer las acciones necesarias.

Los participantes en dichas revisiones deben incluir representantes de las funciones relacionadas con las etapas de diseño y desarrollo que se están revisando. Debe mantenerse registros de los resultados de las revisiones y de cualquier acción necesaria.

2.1.5. Verificación del diseño y desarrollo

Se debe realizar, de acuerdo con lo planificado, para asegurarse que los resultados del diseño y desarrollo cumplen los requisitos de los elementos de entrada del diseño y desarrollo. Deben mantenerse registros de los resultados de la verificación y de cualquier acción que sea necesaria.

2.1.6. Validación del diseño y desarrollo

Se debe realizar la validación del diseño y desarrollo de acuerdo con lo planificado para asegurarse de que el producto resultante es capaz de satisfacer los requisitos para su aplicación especificada o uso previsto, cuando sea conocido. Siempre que sea factible, la validación debe complementarse antes de la entrega o implementación del producto.

Deben mantenerse registros de los resultados de la validación y de cualquier acción que sea necesaria.

2.1.7. Control de cambios del diseño y desarrollo

Los cambios del diseño y desarrollo deben identificarse y deben mantenerse registros. Los cambios deben revisarse, verificarse y validarse, según sea apropiado y aprobarse antes de su implementación. La revisión de los cambios del diseño y desarrollo deben incluir la evaluación del efecto de los cambios en las partes constitutivas y en el producto ya entregado.

Deben mantenerse registros de los resultados de la revisión de los cambios y de cualquier acción que sea necesaria.¹

2.2. Morteros

Pueden definirse como la mezcla de material aglomerante (cemento Portland), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos, con propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto y son ampliamente utilizados para pegar piezas de mampostería en la construcción de muros o para recubrirlos, en cuyo caso se le conoce como recubrimiento, repello o revestimiento.

¹ ISO, International Organization for Standardization. Sistema de la Gestión de calidad. 9 001:2008. p. 3.

2.2.1. Tipos y usos

Dentro de los morteros se pueden distinguir dos familias:

Los aéreos, que endurecen bajo influencia del aire al perder agua y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación.

Los hidráulicos que endurecen bajo efecto del agua, ya que poseen en su composición elementos que se obtienen por calcinación de calizas impurificadas con sílice y alúmina que les permiten desarrollar resistencias iniciales relativamente altas.

De acuerdo con el aglomerante que constituya el mortero, se pueden encontrar los siguientes tipos:

2.2.1.1. Morteros calcáreos

Como es sabido, la cal es un plastificante y ligante conocido desde la antigüedad, estas características hacen del mortero de cal el más manejable de los conocidos. Sin embargo, no pueden esperarse de él altas resistencias iniciales, debido a su velocidad de endurecimiento. La cal de mayor uso es la hidratada.

El agregado fino para estos morteros en realidad constituye un material inerte cuyo objetivo principal es evitar el agrietamiento y contracción del mortero, para lo cual se recomienda que tenga partículas angulosas y esté libre de materia orgánica, rocas grandes, polvo y arcilla.

Las proporciones cal-agregado más usadas en morteros aéreos son 1:2 para repellos y 1:3 o 1:4 para mampostería simple. Si la proporción aumenta, el mortero es más pobre, pueden ocurrir contracciones y agrietamientos no deseables, especialmente en repellos.

2.2.1.2. Morteros de cemento Portland y cal

Los morteros de cemento Portland y cal deben combinarse de tal manera que se aprovechen las propiedades adhesivas de la cal y las propiedades cohesivas del cemento Portland, es importante tener en cuenta que cada adición de cal incrementa la cantidad de agua de mezclado necesaria para lograr las condiciones deseadas, debe buscarse una combinación adecuada.

En cada país la clasificación de morteros, obedece a ciertas especificaciones de resistencia a compresión, retención de agua y otras propiedades, de acuerdo con los materiales utilizados en su preparación. Una de estas especificaciones, de uso común en Guatemala, es la Norma ASTM C-270 (Especificación estándar para morteros de mampostería).

2.2.1.3. Morteros de cemento

Cuando se requieran resistencias elevadas, se pueden usar como aglomerante cemento Portland. Las condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo con la relación agua-cemento usada. La fabricación de este mortero, que es hidráulico ha de efectuarse de un modo continuo, de manera tal que entre el mezclado y la colocación en obra, haya el menor tiempo posible debido a lo rápido del fraguado del cemento. Por ello, se acostumbra a mezclar en obra primero el cemento y el agregado, luego se añade el agua.

Los usos de los morteros de cemento se pueden reunir en cuatro grandes categorías:

- Morteros que proveen suficiente resistencia para soportar cargas a compresión o resistan la abrasión.
- Morteros que mantengan elementos en la posición deseada.
- Morteros que permitan emparejar ciertas unidades estructurales (revoques y revestimientos).
- Morteros que sirvan como relleno de juntas entre diferentes elementos constructivos (reparación de columnas, vigas, etcétera).

2.2.2. Propiedades de los morteros

La evaluación de las propiedades de los morteros pueden considerarse como una medida de control de calidad. Por lo regular se toman en cuenta propiedades en estado plástico y en estado endurecido. Si un mortero cumple con dichas características, fraguará y endurecerá dentro del tiempo y resistencia esperados.

2.2.2.1. Propiedades en estado plástico

Las propiedades plásticas determinan la adaptabilidad de un mortero en la construcción.

- Manejabilidad

Es una medida de la facilidad de colocación de la mezcla, en las unidades de mampostería o en revestimientos.

Está relacionada con la consistencia, la cual se refiere al estado de fluidez del mortero, es decir, que tan dura (seca) o blanda (fluida) es la mezcla cuando se encuentra en estado plástico.

En general, se acepta como medida de la manejabilidad, el valor de fluidez de la mezcla obteniendo en la mesa de flujo de acuerdo a la Norma ASTM C-230 Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement (Especificación estándar de la mesa de flujo para el uso en ensayos de cemento hidráulico).

- Retención de agua

Es una medida de la habilidad del mortero para mantener su plasticidad cuando quede en contacto con una superficie absorbente, como una unidad de mampostería. Puede ser mejorada mediante la adición de cal, dada su capacidad plastificante, aunque hoy en día se tienen otras alternativas igualmente satisfactorias como el uso de aditivos plastificantes y agentes incorporadores de aire.

La retención de agua incide en la velocidad de endurecimiento y la resistencia a compresión del mortero, ya que afecta la hidratación del cemento.

- Fraguado

Los tiempos de fraguado inicial y final del mortero deben estar entre límites adecuados. Sin embargo, estos dependen de diversos factores como las condiciones del clima, la composición de la mezcla o la mano de obra, hoy en día son fácilmente controlables con el uso de aditivos.

2.2.2.2. Propiedades en estado endurecido

Las propiedades en estado endurecido ayudan a determinar el comportamiento de la mampostería terminada.

- Retracción

Es la pérdida de volumen del mortero y se debe principalmente a reacciones químicas de hidratación de la pasta, sobre todo en aquellas con una alta relación agua-cemento.

El agregado soluciona el problema en parte especialmente si es de textura rugosa, ya que forma un esqueleto que evita los cambios de volumen y el peligro de agrietamiento. En zonas calurosas y de mucho viento el agua de mezclado tiende a evaporarse produciendo tensiones internas en el mortero, que se expresan en la formación de visibles grietas. Lo mismo ocurre si la base es muy absorbente. Aparentemente la retracción es proporcional al espesor de la capa de mortero y a la composición química del cemento. Para evitar la retracción es conveniente usar cementos de baja retracción al secado (puzolánicos o con adición inerte) y agregados de buena granulometría con pocos finos.

- Adherencia

La propiedad más importante del mortero es su habilidad para adherirse a las piezas de mampostería o acero. En general, la adherencia es la capacidad que tiene el mortero de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que lo une con la estructura. Es de gran importancia, ya que a ella se debe el hecho de que un mortero pueda resistir pandeo, cargas transversales y excéntricas, dándole resistencia a la estructura. La adherencia afecta en gran forma la permeabilidad y la resistencia a la flexión.

- Resistencia a la compresión

Una vez aplicado en obra, el mortero debe actuar como unión resistente. Se requiere una alta resistencia a la compresión cuando el mortero deba soportar cargas altas y sucesivas. Siendo ésta un indicio de los valores de los esfuerzos de corte y tensión.

- Durabilidad

Es la resistencia a los agentes externos como las bajas temperaturas, la penetración de agua, desgaste por abrasión, retracción al secado, eflorescencias, agentes corrosivos o choques térmicos, entre otros, sin deterioro de sus condiciones físico-químicas con el tiempo. En general, se cree que morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad, sin embargo, el uso de agentes inclusores de aire es de particular importancia en ambientes húmedos, ambientes marinos y en general en condiciones de ambiente agresivo.

- Resistencia al agua

Es la característica de dejar filtrar ya sea aire o agua. Los morteros trabajables y uniformes, pueden hacer que la mampostería sea más resistente a la permeabilidad al agua. Cuando un mortero no es trabajable, los albañiles deben golpear suavemente las piezas de mampostería para colocarlas en su sitio. El resultado de esto es que la junta de mortero no es tan buena y se pueden producir grietas que favorezcan alguna filtración.

- Eflorescencia

Es la cristalización de las sales solubles y es causada por el movimiento de agua de adentro hacia afuera de la pared por efecto de la capilaridad. Es un fenómeno que ocurre de maneras siempre nuevas y sorprendentes. El conocimiento de los mecanismos de la eflorescencia no garantiza su prevención. Sin embargo, contribuyen para crear condiciones que reduzcan su ocurrencia al mínimo.

- Apariencia

Un aspecto que tiene importancia en el mortero es su apariencia, especialmente en mampostería de bloques a la vista. En este caso la plasticidad de la mezcla, la selección y dosificación adecuada de sus componentes son de vital importancia en la colocación y el acabado de superficies. El color y la textura pueden mejorarse con colorantes inorgánicos o con aditivos especiales.

- Color

Esta característica no es una propiedad del mortero, es una apreciación subjetiva de la persona. Se define como una sensación que se produce en respuesta a la estimulación del ojo y de sus mecanismos nerviosos por la energía luminosa de ciertas longitudes de onda. Tradicionalmente los acabados en paredes son generalmente blancos o grises, inclusive existen morteros pigmentados, es decir, que en su proceso de producción se ven involucrados como materias primas dióxidos ferrosos.

2.3. Composición de los morteros

En un principio, se dijo que un mortero es la mezcla de un material aglomerante (cemento Portland), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente cal y aditivos.

2.3.1. Aglomerante

Es aquel material que en estado pastoso y con consistencia variable, tiene la propiedad de moldearse, adherirse fácilmente a otros materiales, de unirlos entre sí, endurecerse y alcanzar resistencias mecánicas considerables.

2.3.1.1. Cemento

Es un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales le permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas. Esta definición no sólo abarca los cementos propiamente dichos, sino una gran variedad de materiales aglomerantes como las cales, los asfaltos y los alquitranes.

2.3.2. Agregados

Los agregados finos llamados arenas o áridos, son todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de grano), no perturban ni afectan las propiedades y características del mortero y garantizan una adherencia suficiente con la pasta endurecida del cemento.

En general la mayoría son materiales inertes, es decir, que no desarrollan ningún tipo de reacciones con los demás constituyentes del mortero, especialmente con el cemento; sin embargo, hay algunos cuya fracción más fina presenta actividad en virtud de sus propiedades hidráulicas, colaborando con el desarrollo de la resistencia mecánica característica del mortero.

2.3.2.1. Granulometría o mesh de los agregados

Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado el cual se determina por análisis de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. Depende del tipo de trabajo de la riqueza de la mezcla y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres o que se emplean agregados grueso de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad.

En general, si la relación agua/cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango de granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia. Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía. Es importante saber, que las cantidades de agregado fino que pasan las malla No. 50 y la No. 100, afectan la trabajabilidad, la textura superficial y el sangrado del concreto.

A continuación se enlistan la granulometría de los agregados finos para morteros según la Norma COGUANOR NGO 41066.

Tabla I. **Granulometría de los agregados finos para morteros**

Abertura del Tamiz		Porcentaje de agregado natural que pasa en la malla
4,75 mm	No. 4	100
2,36 mm	No. 8	95 a 100
1,18 mm	No. 16	70 a 100
0,6 mm	No. 30	40 a 75
0,3 mm	No. 50	10 a 35
0,15 mm	No. 100	2 a 15
0,07 mm	No. 200	5

Fuente: COGUANOR, Comisión Guatemalteca de Normas. Norma relacionada con la industria de la construcción. No. 41066. p. 2.

2.3.2.1. Cal

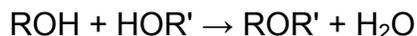
La cal se obtiene por la calcinación de rocas calizas y otras formas de carbonato de calcio. La cal pura, llamada también cal viva o cal cáustica, está compuesta por óxido de calcio (CaO), aunque normalmente los preparados comerciales contienen impurezas, como óxidos de aluminio, hierro, silicio y magnesio. Al tratarla con agua se desprenden grandes cantidades de calor y se forma el hidróxido de calcio, que se vende comercialmente como un polvo blanco denominado cal apagada o cal hidratada.

2.3.3. Aditivos

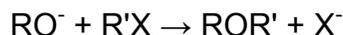
Son productos que introducidos en pequeñas proporciones en los morteros, modifican algunas propiedades originales, pueden ser orgánicos o inorgánicos en cuanto a su composición.

2.3.3.1. Éteres

Un éter es un grupo funcional del tipo R-O-R', en donde R y R' son grupos que contienen átomos de carbono, estando el átomo de oxígeno unido y se emplean pasos intermedios:



Normalmente se emplea el alcóxido, RO', del alcohol ROH, obteniendo al hacer reaccionar al alcohol con una base fuerte. El alcóxido puede reaccionar con algún compuesto R'X, en donde X es un buen grupo saliente, como por ejemplo yoduro o bromuro. R'X también se puede obtener a partir de un alcohol R'OH.



Al igual que los ésteres, no forman puentes de hidrógeno. Presentan una alta hidrofobicidad y no tienden a ser hidrolizados. Los ésteres suelen ser utilizados como disolventes orgánicos.

Suelen ser bastante estables, no reaccionan fácilmente y es difícil que se rompa el enlace carbono-oxígeno. Normalmente se emplea, para romperlo, un ácido fuerte como el ácido yodhídrico, calentando, obteniéndose dos halogenuros o un alcohol un halogenuro.

2.3.3.2. Celulosa

La celulosa es un polisacárido compuesto exclusivamente de moléculas de glucosa; es pues un homopolisacárido (compuesto por un solo tipo de monosacárido); es rígido, insoluble en agua y contiene desde varios cientos hasta varios miles de unidades de β -glucosa. La celulosa es la biomolécula orgánica más abundante ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre.

2.3.3.3. Éteres de celulosa

Se obtienen por reacciones de eterificación de celulosa. La celulosa, insoluble en agua, se convierte así en éteres de celulosa que son solubles en agua. Las macromoléculas de celulosa, sufren reacciones de sustitución en una parte de los grupos hidroxilo de su componente básico, la unidad anhidroglucosa.

Esta sustitución es una transformación de la celulosa similar a una polimerización, conservándose las cadenas de la celulosa misma. No obstante, el cambio altera su carácter, su ordenamiento, su peso molecular y su comportamiento. De esta manera se obtiene una serie de nuevas propiedades físico-químicas interesantes y también efectos funcionales. La reacción puede realizarse con uno o varios agentes de eterificación. Si se utiliza solo uno de estos reactivos de eterificación, se obtiene un homoéter; recurriendo a varios de ellos, se obtiene un éter mixto de celulosa. Los productos así obtenidos difieren claramente entre sí en cuanto a propiedades y efectos.

2.3.3.4. Polímeros redispersables

Son dispersiones secas, las cuales son convertidas en pequeñas gotas, las cuales forman esferas consistentes en una matriz de coloide protector soluble en agua con la que las partículas de resina insolubles quedan cubiertas. El proceso es reversible. La dispersión original es restaurada, sin ningún cambio en el tamaño de partícula por adición de agua.

La función del coloide protector es mantener las partículas separadas y protegerlas contra coalescencia.

Es importante la distribución del tamaño de partículas de una dispersión en polvo ya que determina la calidad de polvo redispersable, influye en el poder de adhesión y determina la efectividad del polvo. Los polvos redispersables modernos tienen el mismo tamaño de partícula que la dispersión original.

El coloide protector es absorbido por el cemento y las cargas en el sistema del mortero, de este modo las partículas individuales pueden coalescer y la película llega a ser resistente al agua.

2.3.3.5. Fibras naturales de celulosa

Son fibras en forma de polvo que se utilizan entre otras aplicaciones como aditivo multifuncional en productos de la química de la construcción. Están fabricados a partir de celulosa, la cual es fabricada gracias a la gran cantidad de materias primas disponibles renovables. Son celulosas en estado natural, insolubles en agua, por lo que no son comparables con los éteres de celulosa solubles en agua. Estas son producidas en varias calidades (distintas longitudes de fibras, diámetros, purezas, etcétera) para un amplio rango de aplicaciones industriales.

Las fibras de celulosa forman una red o matriz tridimensional con un pronunciado entrecruzamiento físico. Este entrecruzamiento atrapa líquidos en su estructura (agua, emulsiones, bitumen, etcétera). Entre mayor es la longitud de la fibra en promedio, mayor es su efecto de espesamiento. Es un producto adecuado para remplazar asbestos.

Entre las propiedades del uso de fibras naturales de celulosa se encuentran: mejoran las características de procesamiento gracias a su comportamiento como espesante estructural, buena capacidad de absorción líquidos debido a la estructura de la fibra, mejor resistencia al descuelgue/deslizamiento en muros, inhibidor de grietas en muros, reduce el encogimiento y prolongación de tiempo abierto.

2.3.4. Agua

Se puede definir como aquel componente del mortero en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. Se clasifica en agua de mezclado y agua de curado.

2.3.4.1. Agua de mezclado

Está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de mortero que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario para producir una pasta bien hidratada, con una fluidez tal que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico. De ahí el hecho de que deba hacerse un estricto control sobre el agua de mezclado en el momento de dosificarla.

2.3.4.2. Agua de curado

“El curado puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias, para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate y el mortero alcance sus propiedades potenciales. Estas condiciones se refieren básicamente a la humedad y la temperatura. Por lo tanto, el agua de curado constituye el suministro para hidratar eficientemente el cemento durante el fraguado”.²

² ALEJANDRE SÁNCHEZ, Francisco Javier. Historia, caracterización y restauración de morteros. p. 121 – 130.

2.4. Condiciones de aplicación de un mortero

En la actualidad existen sistemas para recubrir muros y cielos que sustituyen los procesos tradicionales de pintura y sellado. Se pueden encontrar estucos con texturas finas o gruesas para diferentes tipos de sustrato y espesores, así como, con diferentes formas de aplicación, las cuales se nombran a continuación.

- El sustrato debe estar limpio, sin restos de polvo, aceite, grasa, pintura o cualquier tipo de impureza que pueda inhibir la adherencia.
- Poner especial cuidado en las primeras hileras de block, pues es en donde más polvo tiende a acumularse. Si las manchas persisten trate con un cepillo o una escoba.
- Utilizar una bomba de agua o alta presión para retirar pintura. El usar decapantes químicos facilita el proceso de limpieza; recuerde retirar cualquier rastro de decapante. Para remover desmoldantes y agentes de curado utilice una bomba con agua caliente o alta presión.
- Humedecer el sustrato antes de realizar una instalación de repello. En temperaturas altas y sustratos muy absorbentes es necesario humedecer perfectamente o aplicar un primer sello.
- Retire los excesos de boquilla para contar con una superficie más nivelada.

- Retirar alambres y clavos utilizados en el colado de estos elementos para facilitar el proceso de instalación y evitar que, con el paso del tiempo, se oxiden y manchen el recubrimiento.
- Colocar reglas para lograr una buena alineación de los filetes (aristas). Realice filetes de ventanas y puertas como primera etapa del proceso de aplicación.
- En sustratos muy lisos como concreto, asegúrese de limpiar desmoldantes o agentes de curado.

2.5. Indicadores de la industria de la construcción en Guatemala

Los morteros conforman un 15% del volumen total de un muro, por medio de este se puede determinar la resistencia a la compresión. Debido a las fuerzas del viento y sismos, los morteros son diseñados para soportar esfuerzos de flexocompresión, por lo que es sumamente importante elaborarlos con la calidad adecuada para evitar problemas estructurales.

2.5.1. Fabricados en obra

La dosificación de este tipo de mortero se ve afectada debido a su tipo de elaboración en el momento, además se miran involucradas la productividad del albañil y la resistencia del mortero. Se fabrican en proporciones de cemento: cal: arena normalmente entre 1:1/8:2 a 1:1:7 metros cúbicos.

2.5.2. Premezclados

Algunas empresas en Guatemala fabrican productos como el concreto, sus requerimientos, adherencia, retención de agua y resistencias van acorde a la Norma ASTM C-270.

Este mortero es dosificado en una planta y es llevado en un camión mezclador, esto se logra debido a los aditivos agregados en mezcla que aumentan su tiempo de fraguado. Se ha comprobado que este tipo de mortero presenta una mejor calidad y resistencia comparado contra los hechos en el momento.

2.5.3. Predosificados

La presentación de estos morteros es en sacos y son llamados comúnmente listos para mezclar. Tanto los agregados como los aglomerantes vienen mezclados, ahorrando tiempo en obra. El fabricante debe indicar la cantidad de agua apropiada y las condiciones de uso apropiadas para lograr resistencias y máximo rendimiento.

2.6. Métodos de ensayo

Se trabajaron dos métodos de ensayo para delimitar el campo de estudio los cuales son resistencia a la adhesión, permeabilidad, sus procedimientos y la interpretación de los resultados de los ensayos.

2.6.1. Resistencia a la adhesión

Se define como la tracción máxima al arrancamiento por carga directa perpendicular a la superficie del mortero para revoco o enlucido que se ha aplicado sobre un soporte. La carga de tracción se aplica sobre una pastilla definida, pegada (unida) a la superficie de ensayo del mortero. La resistencia a la adhesión (resistencia de unión) es la relación entre la carga de rotura y el área de la superficie de ensayo.

2.6.1.1. Preparación y conservación de las probetas para ensayo

Se utilizaron probetas de ensayo en óptimas condiciones para obtener resultados satisfactorios del soporte, aplicación, superficie de ensayo y también se explica el procedimiento a seguir para realizar el ensayo a continuación se detallan los pasos.

- Soporte

En los sistemas para revoco fabricados para un soporte especificado, por ejemplo, ladrillos cerámicos, bloques de hormigón, etcétera, se pueden utilizar estos materiales, en estado seco al aire, como soportes para ensayo.

Cuando no se hayan especificado soportes, se pueden usar placas de hormigón, cuyas dimensiones mínimas sean de 550 milímetros x 150 milímetros y con un espesor de 50 milímetros. El hormigón se debe preparar con una relación de agua/cemento igual a 0,55 y con áridos, normalmente calibrados, que deben tener un tamaño máximo de un tercio del grosor de su placa.

Las placas de hormigón que se utilicen en los ensayos, deben tener, al menos, 28 días antes de la aplicación de los sistemas para revoco o enlucido.

- Aplicación

El mortero fresco que se ha preparado se debe aplicar al soporte especificado, según las recomendaciones del fabricante y el uso previsto. El soporte se debe mantener en posición vertical durante la aplicación. Salvo indicaciones contrarias el espesor total de la capa de mortero debe ser de 10 milímetros \pm 1 milímetros.

- Superficie de ensayo

De la capa de mortero se cortarán superficies circulares, cuyo diámetro debe ser aproximadamente de 50 milímetros, tanto en el mortero fresco como en el mortero endurecido. El diámetro de la superficie circular para ensayo se debe anotar para cada probeta. Se deben preparar cinco probetas para ensayo.

Después de la aplicación y del fraguado inicial de la capa de mortero, se colocará el anillo troncocónico, limpio y lubricado con una capa fina de aceite mineral; a continuación, se presionará por su canto vivo y se girará suavemente, a través de la capa de mortero fresco hasta que entre en contacto total con el soporte. La distancia mínima entre el anillo y los extremos libres del soporte con el mortero, así como la distancia libre entre los diversos anillos individuales, debe ser de 50 milímetros.

Los anillos se extraen con sumo cuidado, una vez se llegue al soporte, girando suavemente. Si la adhesión de alguna de las probetas se altera durante esta operación, se extraerá otra probeta.

Después de que los morteros para revoco o para enlucido hayan endurecido suficientemente durante la conservación se cortan las probetas para ensayo usando la sonda rotativa. La probeta se debe cortar hasta una profundidad de, aproximadamente, 2 milímetros dentro del soporte. Las probetas dañadas se deben eliminar.

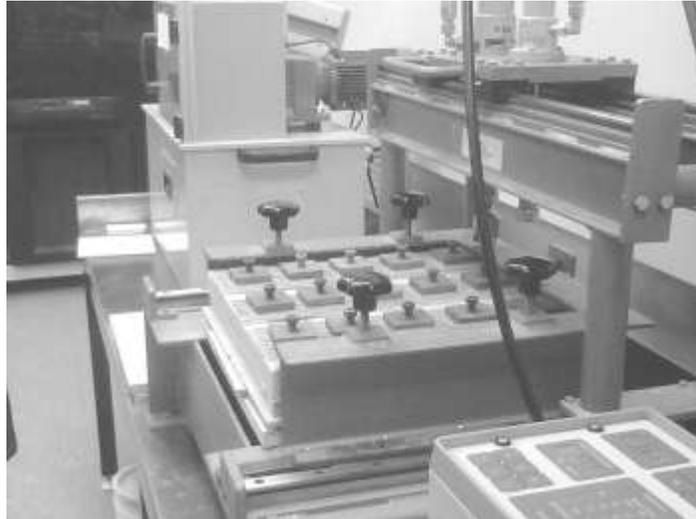
2.6.1.2. Procedimiento

Las pastillas para tracción se pegan con el adhesivo en el centro de la superficie de las probetas, evitando cualquier desbordamiento de adhesivo porque en estos casos el corte será difícil.

Las probetas se ensayan a la edad de 28 días, inmediatamente después de haberlas sacado del recinto de conservación.

Por medio del equipo de tracción, se aplica la carga de tracción perpendicular a las áreas de ensayo a través de las pastillas. La carga se debe aplicar sin sacudidas y a una velocidad uniforme. Se debe utilizar una velocidad tal que la tracción aumente dentro de un entorno de 0,003 Newton por milímetros cuadrados por segundo a 0,100 Newton por milímetros cuadrados por segundo para que, de acuerdo con la resistencia a la adhesión (resistencia de unión) prevista, la rotura se produzca entre 20 segundos y 60 segundos. La carga en la que se produce la rotura se anota. Cualquier ensayo cuya rotura se produzca en el nivel de la capa de adhesivo entre la pastilla, se elimina.

Figura 1. **Procedimiento ensayo resistencia a la adhesión**



Fuente: AFAM, Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero. Recomendaciones y pliego de condiciones para fábricas de mortero. p. 62.

2.6.1.3. Cálculo y expresión de resultados

La resistencia individual a la adhesión (resistencia de unión), expresada con una aproximación de 0,05 Newton por milímetros al cuadrado, se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$f_u = \frac{F_u}{A}$$

Donde

f_u = resistencia a la adhesión (resistencia a la unión), en Newton por milímetros al cuadrado.

Fu = carga de rotura, en Newton

A = área de la superficie de ensayo de la probeta cilíndrica, milímetros cuadrados.

La resistencia a la adhesión (resistencia de unión) es el valor medio correspondiente a los valores individuales de las 5 probetas ensayadas, con una aproximación de 0,01 Newton por milímetros al cuadrado.

Los tipos de rotura que dan valores fiables, son la rotura adhesiva y la rotura cohesiva. En la adhesiva el valor del ensayo es igual a la resistencia a la adhesión y en la cohesiva la resistencia a la adhesión es mayor que el valor del ensayo.³

2.6.2. Impermeabilidad

El hormigón impermeable debe estar libre de fisuras, producido con áridos densos y ser estanco a los líquidos y a los gases. El objetivo principal es reducir la porosidad capilar en la matriz de la pasta de cemento endurecida.

Los poros capilares son extremadamente finos, entre 1/5 y 1/5 000 de milímetros y están unidos entre sí. Por consiguiente, son verdaderos conductos capaces de llevar los líquidos y gases al corazón mismo de una estructura de hormigón.

³ UNE, Una Norma Española. Método de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 12: Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros para revoco y enlucido endurecidos aplicados sobre soportes. p. 7.

Dichos poros son cavidades producidas por exceso de agua en la mezcla. De hecho, la porosidad de morteros y hormigones está ligada directamente a su razón agua/cemento y por lo tanto, su permeabilidad.

También existe una conexión entre porosidad y resistencia a compresión en materiales cementicios. Baja porosidad significa alta resistencia a compresión y en un sentido más amplio, una mayor durabilidad.

2.6.2.1. Método de Karsten

Ideado por el Ingeniero alemán Rudolf Karsten, este método consiste en un tubo de vidrio transparente graduado en ml, de modo que 1 metro lineal corresponde a 1 centímetro de altura de columna de agua, con una base circular de 2,5 centímetros de diámetro.

Se fija la base circular del tubo a la superficie del muro a evaluar por medio de una masilla plástica o silicona. Una vez instalado, se vierte agua en él, según la altura de la columna de agua que se desea dentro del tubo, se ejercerá sobre la superficie del substrato una presión que equivale al efecto de intensidad de lluvia acompañada de vientos cuya velocidad es posible calcular. Considerando que 1 centímetro de altura de columna de agua corresponde a una presión de 0,098 kilo Newton por metro.

Tabla II. **Relación velocidad del viento – altura columna de agua**

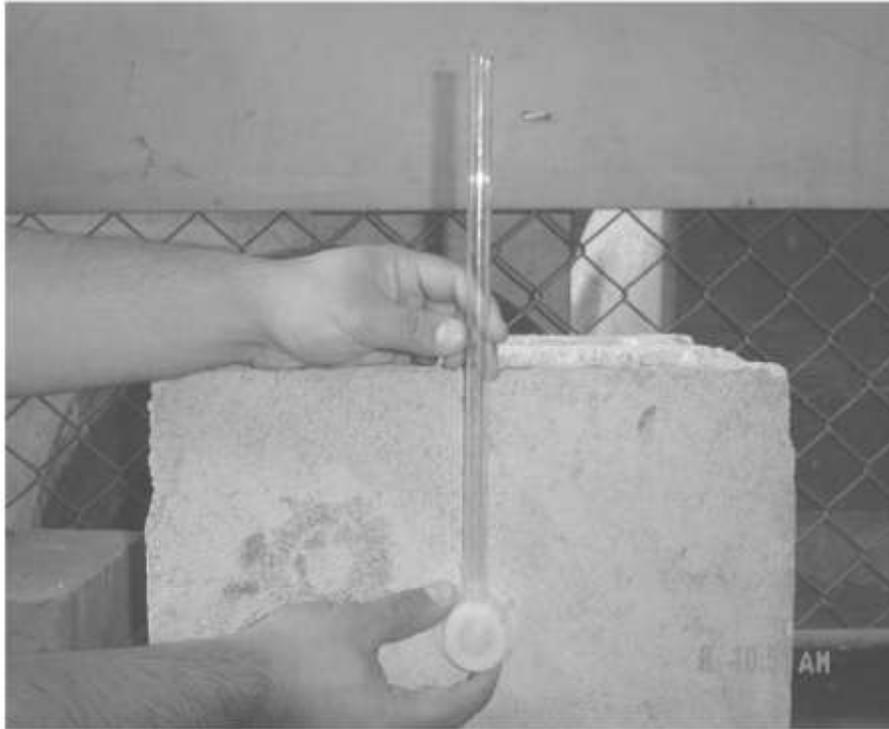
Velocidad del viento (kilo Newton por metro)	Altura de columna de agua (centímetro)
50	2
100	5
140	9,5

Fuente: SABÁ MEDRANO, Carlos Eduardo. Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería. p. 59.

La cantidad de agua absorbida por unidad de tiempo por parte de un substrato poroso se mide directamente, efectuando la lectura en la escala que posee el tubo de Karsten. Si la absorción es alta, se recomienda rellenar el tubo una vez que la columna de agua ha descendido 1 centímetro, con el fin de mantener una presión más o menos constante. Generalmente, el tubo se llena con agua hasta que el nivel superior de este alcance una altura de 5 centímetros la que equivale a la presión ejercida por lluvias con vientos que poseen una velocidad de 100 kilómetros por hora. Las alturas de columna de agua superiores representan velocidades de vientos que prácticamente nunca se producen en la mayor parte del territorio guatemalteco.

Es recomendable efectuar varias mediciones en distintos puntos sobre el muro, de modo que sea posible obtener resultados apropiados, ya que la superficie del área de la base circular es reducida.

Figura 2. **Procedimiento ensayo método de Karsten**

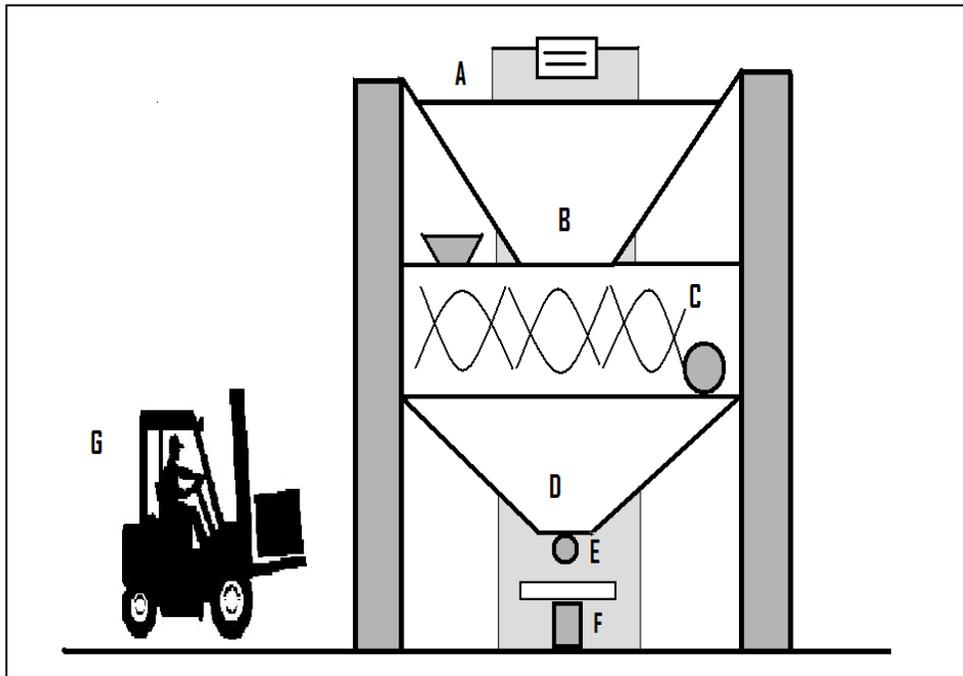


Fuente: SABÁ MEDRANO, Carlos Eduardo. Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería. p. 58.

2.7. Producción y equipo para fabricar un mortero

El Área de Producción constituye una de las más importantes en la empresa, ya que en ésta se generan los diferentes productos para luego ser comercializados. Grupo Industrial Cinco S.A. cuenta con el siguiente listado de equipo en su proceso de producción:

Figura 3. **Producción y equipo para fabricar un mortero**



Fuente: elaboración propia.

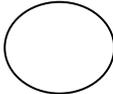
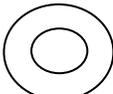
2.8. Diagrama de flujo del proceso

El diagrama de flujo, representa gráficamente las actividades que se realizan durante la elaboración de un producto, es decir, permite ver las operaciones, inspecciones, transportes, almacenajes y demoras. Se debe indicar en el diagrama todas las demoras y tiempos de almacenamiento, no sólo indicar los retrasos o almacenamiento ya que cuanto mayor sea el tiempo de retraso, mayor será el costo acumulado. El diagrama de flujo se identifica mediante un encabezado.

2.8.1. Simbología del diagrama de flujo

El diagrama de flujo es la representación gráfica de los pasos a seguir en cualquier operación productiva, es por ello importante colocar la simbología bien clara y ordenada la cual facilitará el entendimiento del diagrama de flujo.

Tabla III. Simbología diagrama de flujo

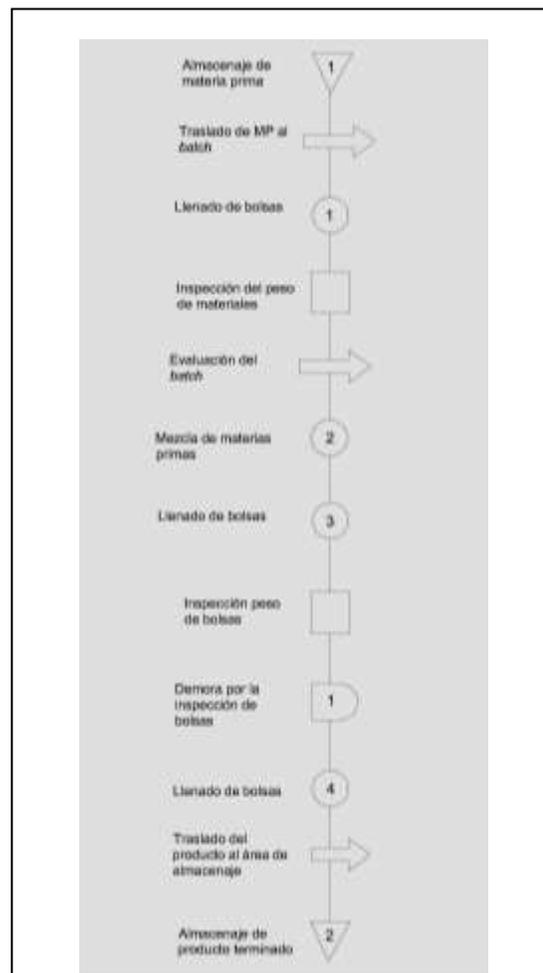
Nombre	Símbolo	Significado
Operación		Es el cambio físico o químico que sufre un material al ser procesado (mezclar, secar, etcétera).
Operación		Es una operación de trámite para informes (reparaciones).
Operación		Es una operación de trámite para agregar información a un registro (inventarios).
Transporte		Representa un traslado del material (montacargas).
Almacenamiento		Almacenamiento (materia prima, producto terminado, etcétera).
Demora		Cualquier retraso del material en el proceso (almacenamientos en pleno proceso).
Inspección		Revisión de un proceso (observar maquinaria, calidad, etcétera).

Fuente: elaboración propia.

2.8.2. Diagrama de flujo del proceso de producción

El diagrama de flujo del proceso de producción es la representación simbólica de los pasos a realizar en la producción del producto desde su inicio que es el almacenaje de la materia prima hasta el almacenaje del producto terminado.

Figura 4. **Proceso de producción**



Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Resumen diagrama de flujo**

Simbología	Evento	Número
	Operaciones	4
	Inspecciones	2
	Traslados	3
	Almacenaje	2
	Demoras	1

Fuente: elaboración propia.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables son los indicadores que serán comprobados mediante el diseño metodológico, por medio de las tablas V y VI describiendo los tipos de variables que se utilizarán en este proyecto.

Tabla V. Descripción variables involucradas

No.	Variable	Dimensional	Factor potencial de diseño		Factores Perturbadores	
			Constantes	Variables	Controlables	de ruido
	Análisis de equipo y material					
1	Cantidad másica	kg		X		
2	Tiempo de mezcla sólidos	s	X			
3	Potencia del mezclador	HP	X			
4	Volumen	L	X			
5	Tiempo de mezcla pasta	min	X			
6	Tiempo abierto	min	X			
7	Rendimiento	m ²	X			
8	Tiempo de secado	h	X			
9	Tiempo de curado	días	X			
10	Resistencia a la compresión	PSI		X		
	Análisis ambiental externo					
11	Temperatura ambiente					X

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Descripción de variables a manipular

No.	Variable	Dimensional	Rango de Variación
1	Resistencia a la adhesión	N/mm ²	≥ 0,5 N/mm ²
2	Permeabilidad	%	≥ 60 %

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de resultados

- Adherencia: es la propiedad más importante de un mortero, es la capacidad que tiene el repello de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que lo une con la estructura.
- Permeabilidad: es la capacidad para impedir el paso del agua, ésta se consigue mediante aditivos especiales que reducen drásticamente la capacidad de absorción.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Asesor supervisor docente: Inga. Lorena Pineda Cabrera
- Estudiante de EPS (pasante o epesista): José Luis Guerrero García
- Director de la Unidad de EPS: Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
- Director de Escuela de Ingeniería Química: Ing. Williams Álvarez Mejía

- Asesor Técnico: Ing. Víctor Hugo Echeverría
- Gerencia General Grupo Industrial Cinco S.A.: Lic. Alejandro Espina Bran
- Personal de Laboratorio e instalador de producto en campo

3.4. Recursos materiales disponibles

El equipo y materiales son las herramientas por medio de las cuales se obtienen los resultados por ello es importante realizar un listado como el que se presenta en la siguiente tabla para tener un inventario de los equipos y materiales necesarios para el proyecto.

Tabla VII. **Equipo y material que será indispensable para el desarrollo del proyecto**

Instrumentos de Medición	Equipo
Balanza analítica 1 000 g	Mezcladora 15 Hp
Cronómetro	Tolva de llenado
Tubo de Karsten	Computadora
Equipo de tracción	Impresora
Materiales	Herramientas
Sacos de polipropileno	Espátulas
Filtros	Pisetas
Hojas en blanco	
Lapiceros	
Folders	

Fuente: elaboración propia.

3.5. Técnica cualitativa y cuantitativa

- Granulometría (Normas COGUANOR NGO 41066)
- Resistencia a la adhesión (Norma española UNE-EN 1015-12)
- Porcentaje de permeabilidad (Método de Karsten)
- Rendimiento (Cobertura del producto en campo)

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

El diseño y desarrollo del repello alisado hidrofóbico, se realizó de acuerdo con el procedimiento establecido por el departamento de investigación y desarrollo de elaboración de productos nuevos. Se formularon una combinación de porcentajes entre las materias primas constantes y variables, a las cuales se les evaluó la norma UNE-EN 1015-12 y el método de Karsten luego de cumplir un tiempo de curado de 14 y 28 días. Una vez se cumplió con la aprobación de al menos una formulación en el modelo estadístico evaluado, se procedió a realizar lotes piloto con la dosificación de materias primas correspondientes.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información se llevó a cabo mediante un arreglo en el que se combinan tres factores por cinco niveles porcentuales quintuplicados, al cual se le realizará la prueba de significancia ANOVA.

3.8. Análisis estadístico

Se requirió analizar 18 muestras para obtener la formulación que cumpla con los requisitos funcionales de adherencia e hidrofobicidad buscados. Para el análisis estadístico se utilizaron las siguientes ecuaciones:

- Media Aritmética

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{N}$$

Donde

\bar{X} = media Aritmética

$\sum Xi$ = sumatoria de conjunto de valores de la variable

N = número total de valores

- Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2}{N}}$$

Donde

σ = desviación estándar

Xi = valores de la variables

\bar{X} = media Aritmética

N = número total de valores

- ANOVA (prueba de significancia)

El análisis de la varianza (ANOVA) es una potente herramienta estadística, de gran utilidad tanto en la industria, para el control de procesos, como en el laboratorio de análisis, para el control de métodos analíticos. Los ejemplos de agrupación son múltiples, pudiéndose agrupar, según el objetivo que persiguen, en dos principalmente: la comparación de múltiples columnas de datos y la estimación de variación de un proceso.

4. RESULTADOS

4.1. Formulaciones y resultados obtenidos

Para tener una mejor visión de los resultados obtenidos por medio del diseño metodológico según las variables y constantes, utilizando 18 muestras las cuales están tabuladas en la tabla VIII, los datos son los siguientes:

Tabla VIII. Registro, formulación y reformulación de producto

Muestra	MATERIAS PRIMAS							
	Constantes					Variables		
	Cemento Portland blanco	Carbonato de calcio Mesh 200	Carbonato de calcio azúcar blanca	Cal hidratada	Agua	Éter de celulosa	Fibra de celulosa	Polvo redispersable
1								0,12%
2								0,14%
3							0,09%	0,16%
4								0,12%
5								0,14%
6						0,09%	0,11%	0,16%
7								0,12%
8								0,14%
9							0,09%	0,16%
10								0,12%
11								0,14%
12						0,11%	0,11%	0,16%
13								0,12%
14								0,14%
15							0,09%	0,16%
16								0,12%
17								0,14%
18	10%	49%	25%	14%	23%	0,13%	0,11%	0,16%

Fuente: elaboración propia.

4.2. Ensayos mezcla húmeda

Para obtener los resultados de adherencia se realizaron ensayos en mezcla húmeda y se presentan en las tablas siguientes ya que se realizaron las pruebas utilizando diferentes porcentajes de éter de celulosa.

Tabla IX. **Resultados mezcla húmeda utilizando 0,09% de éter de celulosa**

MUESTRA	1	2	3	4	5	6
Masa unitaria kg/m ³	1,767	1,800	1,822	1,808	1,810	1,815
Rel. agua/material	0,262	0,262	0,268	0,26	0,268	0,262
Adherencia N/mm ² 14 días	0,4	0,45	0,49	0,52	0,59	0,58
Adherencia N/mm ² 28 días	0,56	0,6	0,72	0,81	0,96	0,96
Resistencia Comp. PSI 7 días	218	238	253	218	222	230
Resistencia Comp. PSI 28 días	299	310	320	286	300	315

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Resultados mezcla húmeda utilizando 0,11% de éter de celulosa**

MUESTRA	7	8	9	10	11	12
Masa unitaria kg/m ³	1,800	1,834	1,797	1,767	1,802	1,777
Rel. agua/material	0,261	0,261	0,265	0,261	0,263	0,3
Adherencia N/mm ² 14 días	0,45	0,53	0,51	0,63	0,64	0,66
Adherencia N/mm ² 28 días	0,6	0,75	0,75	0,81	0,85	0,89
Resistencia Comp. PSI 7 días	222	223	239	264	255	234
Resistencia Comp. PSI 28 días	290	291	295	318	305	297

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Resultados mezcla húmeda utilizando 0,13% de éter de celulosa**

MUESTRA	13	14	15	16	17	18
Masa unitaria kg/m ³	1,830	1,800	1,795	1,792	1,808	1,800
Rel. agua/material	0,27	0,271	0,273	0,273	0,273	0,272
Adherencia N/mm ² 14 días	0,45	0,5	0,53	0,57	0,62	0,62
Adherencia N/mm ² 28 días	0,65	0,65	0,65	0,79	0,84	0,86
Resistencia Comp. PSI 7 días	238	245	250	236	243	245
Resistencia Comp. PSI 28 días	300	310	315	298	305	309

Fuente: elaboración propia.

4.3. Ensayos de permeabilidad

Para obtener los resultados de porcentaje de permeabilidad se realizaron ensayos por medio del método de Karsten y los resultados se muestran en las siguientes tablas utilizando los distintos porcentajes de éter de celulosa.

Tabla XII. **Porcentaje de permeabilidad utilizando 0,09% de éter de celulosa**

MUESTRA	1	2	3	4	5	6
% de permeabilidad	15	13	13	12	10	8
% repele	85	87	87	88	90	92
L/m ²	5,6	5	5	4,5	3,75	3
Tiempo total (horas)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Velocidad (km/horas)	90	90	90	90	90	90

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Porcentaje de permeabilidad utilizando 0,11% de éter de celulosa**

MUESTRA	7	8	9	10	11	12
% de permeabilidad	12	12	10	10	9	9
% repele	88	88	90	90	91	91
L/m ²	4,5	4,5	3,75	3,75	3,38	3,38
Tiempo total (horas)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Velocidad (km/horas)	90	90	90	90	90	90

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Porcentaje de permeabilidad utilizando 0,13% de éter de celulosa**

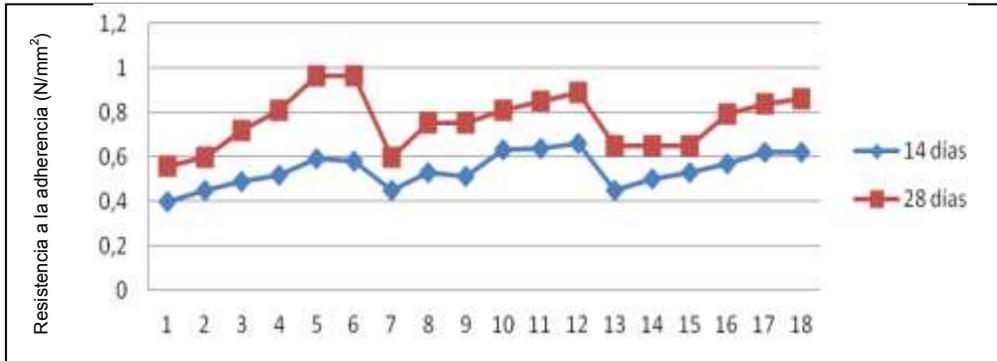
MUESTRA	13	14	15	16	17	18
% de permeabilidad	13	11	10	10	8	8
% repele	87	89	90	90	92	92
L/m ²	5	4,1	3,75	3,75	3	3
Tiempo total (horas)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Velocidad (km/horas)	90	90	90	90	90	90

Fuente: elaboración propia.

4.4. Gráficas de resultados

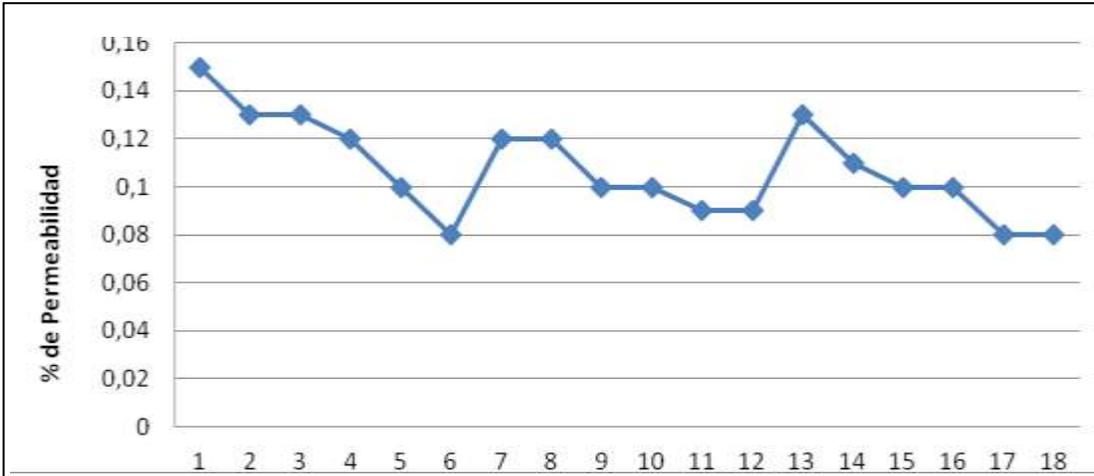
A continuación se presentan gráficamente los resultados de los ensayos tanto de adherencia a los 14 y 28 días y también la gráfica del porcentaje de permeabilidad.

Figura 5. Resistencia a la adhesión después de 14 y 28 días



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Porcentaje de permeabilidad



Fuente: elaboración propia.

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

5.1. Análisis de varianza de un factor después de 14 días

Para aceptar o rechazar la hipótesis se necesita de un análisis de varianza el cual se presenta en las siguientes tablas, las cuales servirán para llegar a realizar una conclusión e interpretar correctamente los resultados.

Tabla XV. **Resumen análisis de varianza resistencia a la adhesión después de 14 días**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	6	3,03	0,505	0,00547
Columna 2	6	3,42	0,57	0,00724
Columna 3	6	3,29	0,548333	0,004616

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Análisis de varianza resistencia a la adhesión después de 14 días**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,013144	2	0,006572	1,137938	0,346644	3,682320
Dentro de los grupos	0,086633	15	0,005775			
Total	0,099777	17				

Fuente: elaboración propia.

5.2. Hipótesis estadística

$F < \text{Valor crítico para F}$, por lo tanto:

Ho no se rechaza. No existe diferencia significativa en el parámetro de resistencia a la adhesión en las distintas formulaciones de un mortero fino tipo repello para pared con propiedades de adherencia e hidrofobicidad después de 14 días.

5.3. Análisis de varianza de un factor después de 28 días

Se evaluaron los resultados de la varianza a la resistencia a la adhesión después de 28 días y los resultados se tabulan a continuación en las siguientes tablas.

Tabla XVII. **Resumen análisis de varianza resistencia a la adhesión después de 28 días**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	6	4,61	0,768333	0,029857
Columna 2	6	4,65	0,775	0,01039
Columna 3	6	4,44	0,74	0,01024

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Análisis de varianza resistencia a la adhesión después de 28 días**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,004144	2	0,002072	0,123135	0,885028	3,682320
Dentro de los grupos	0,252433	15	0,016828			
Total	0,256577	17				

Fuente: elaboración propia.

5.4. Hipótesis estadística

$F < \text{Valor crítico para } F$, por lo tanto:

Ho no se rechaza. No existe diferencia significativa en el parámetro de resistencia a la adhesión en las distintas formulaciones de un mortero fino tipo repello para pared con propiedades de adherencia e hidrofobicidad después de 28 días.

5.5. Análisis de varianza de un factor para el porcentaje de permeabilidad

En este análisis de varianza se realizaron 3 pruebas y con base en éstas se sacó un promedio, la varianza del respectivo ensayo y en las siguientes tablas se presenta el resumen de los datos obtenidos.

Tabla XIX. **Resumen análisis de varianza porcentaje de permeabilidad**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	6	0,71	0,1183333333	0,000457
Columna 2	6	0,63	0,105	0,00035
Columna 3	6	0,58	0,096666667	0,000347

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Análisis de varianza porcentaje de permeabilidad**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,00143333	2	0,000716667	1,864162	0,18920937	3,68232
Dentro de los grupos	0,00576667	15	0,000384444			
Total	0,0072	17				

Fuente: elaboración propia.

5.6. Hipótesis estadística

$F < \text{Valor crítico para F}$, por lo tanto:

Ho no se rechaza. No existe diferencia significativa en el parámetro de porcentaje de permeabilidad en las distintas formulaciones de un mortero fino tipo repello para pared con propiedades de adherencia e hidrofobicidad.

6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente trabajo de graduación se llevó a cabo la formulación de un mortero fino tipo repello con acabado alisado y que cumple con los requisitos funcionales de adherencia óptima y repelencia al agua en un porcentaje significativo para una empresa de acabados de la construcción guatemalteca.

Por medio de una matriz (ver tabla IX), se formularon las 18 muestras en las cuales se combinaron las materias primas constantes y las variables. Entre las variables, se encuentran el éter de celulosa, fibra de celulosa y polvo redispersable.

Se tomó como base tres porcentajes éter de celulosa ya que es la materia prima que regula el tiempo abierto de un mortero, es decir, su capacidad de retener el agua produciendo una mejor hidratación al cemento a la hora de ser mezclado. La fibra de celulosa, se combinó únicamente en dos porcentajes ya que su función es más cualitativa al evitar fisuras y descuelgue del mortero al ser aplicado al sustrato. El polvo redispersable permite a un mortero tener mayor adherencia y es el aditivo que da las características de repelencia al ataque que ejerce el agua.

Los resultados se delimitaron en dos variables, la resistencia a la adhesión por medio de la norma española UNE-EN 1015-12 y el porcentaje de permeabilidad por medio del método de Karsten. A todas las muestras fabricadas se le realizaron las diferentes evaluaciones para un mortero: relación agua-material, masa unitaria suelta, resistencia a la compresión, etcétera.

En la tabla X, XI y XII; teniendo como base el éter de celulosa al 0,09%, 0,11% y 0,13% en fórmula respectivamente, se pudo analizar que la resistencia a la adhesión fue incrementando a medida que se incrementaba la cantidad de polvo redispersable. Obteniendo resultados satisfactorios según la norma a partir de la prueba No. 3 y a 14 días de fraguado.

Es importante comentar que en la mayoría de las pruebas se logró obtener una resistencia a la adhesión por arriba de los 0,5 Newton sobre milímetros al cuadrado. La prueba No. 6 fue la que presentó mejores resultados de adherencia, obteniendo 0,96 Newton sobre milímetros al cuadrado a 28 días de fraguado, cumpliendo con la norma española UNE-EN 1015-12.

El otro parámetro fundamental en este trabajo, la impermeabilidad, es una característica fundamental para los morteros hoy en día. Por el Método de Karsten, se logra medir la cantidad de agua que logra absorber un mortero, teniendo como parámetro satisfactorio un resultado de al menos 60% de repelencia. Según las muestras analizadas, en dos de ellas se obtuvo un 92% de repelencia al agua, convirtiendo al mortero en óptimo para usos como sellante, recubrimiento de terrazas, revestimiento de fachadas, piscinas, tanques de agua, etcétera.

La decisión de determinar qué formulación es la más adecuada, pasa por el hecho de lograr resultados esperados y no encarecer el proceso de fabricación de un producto. Se determinó la Prueba No. 6 como la óptima del estudio, la cual cumple con los parámetros buscados y la cantidad de materias primas utilizadas no afecta el costo de producción, logrando obtener mayores ganancias para la empresa.

Para complementar correctamente el estudio, se realizó un proceso estadístico ANOVA de una varianza, en el cual se evaluó si existía una diferencia significativa entre los resultados de resistencia a la adhesión de las 18 pruebas evaluadas para 14 y 28 días de fraguado. Obteniendo resultados satisfactorios y rechazando la hipótesis alternativa.

El comportamiento de la resistencia a la adhesión fue incrementando de 14 a 28 días de fraguado, logrando mejores resultados y teniendo un mortero más resistente en adherencia.

CONCLUSIONES

1. No existe diferencia significativa en los resultados de resistencia a la adhesión calculados para las 18 pruebas analizadas por medio de un análisis de una varianza ANOVA.
2. La prueba con mejores resultados obtenidos de resistencia a la adhesión y porcentaje de permeabilidad es la Prueba 6, utilizando 0,16% de polvo redispersable en fórmula.
3. El aumento en fórmula de la variable polvo redispersable, favorece las propiedades de adherencia y permeabilidad de un mortero.
4. Los morteros con un mayor contenido de éter de celulosa presentan una mejor capacidad de retención del agua.
5. El uso de fibra de celulosa en la formulación de un mortero, aumenta notablemente la resistencia a la mezcla y reduce la fisuración, convirtiéndose en un excelente recurso para evitar las fisuras en acabados a la intemperie.
6. Según lo visto en resultados de campo, entre las ventajas de impermeabilizar un mortero se encuentran: disminución de humedad, durabilidad, confiabilidad y mejoramiento de la presencia del ambiente.

7. No existe diferencia significativa en los resultados de porcentajes de permeabilidad calculados para las 18 pruebas analizadas por medio de un análisis de una varianza ANOVA.

RECOMENDACIONES

1. Por medio de los resultados de este estudio, validar el procedimiento de la norma UNE-EN 1015-12 para el desarrollo y evaluación de repellos innovadores dentro de la empresa.
2. Controlar las características de los agregados utilizando en la fabricación de morteros, pues son un factor influyente en el comportamiento de los mismos.
3. Continuar con los estudios de impermeabilidad de morteros, investigando que otros aditivos presentan mejoras tanto en el proceso de fabricación como en la aplicación de los morteros, siempre en un marco funcional y económico para la empresa.
4. Evaluar este tipo de morteros tipo repellos en diferentes zonas climáticas del país, desarrollando mejoras a los mismos.

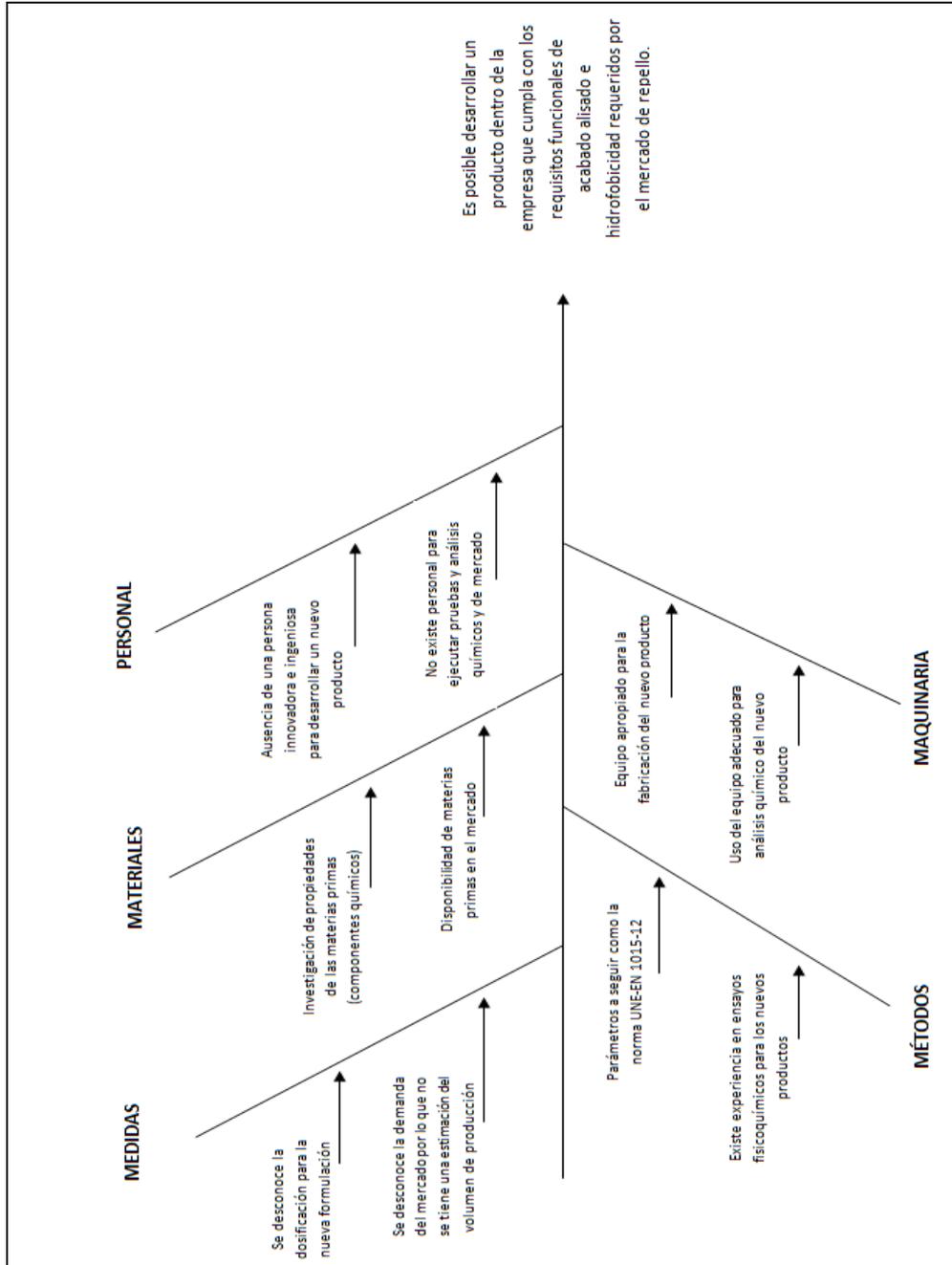
BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero. *Recomendaciones y pliego de condiciones para fábricas de mortero*. Madrid: AFAM, 2009. 54 p. ISBN: 978-84-613-2652-5.
2. ALEJANDRE SÁNCHEZ, Francisco Javier. *Historia, caracterización y restauración de morteros*. Sevilla: Secretaría de publicaciones Universidad de Sevilla, 2002. p. 121-130. Arquitectura. ISBN: 84-472-0773-0.
3. BOSH GONZÁLEZ, Montse; GIRÓ, Verónica; VICENTE MUÑOZ, Miguel. *Nuevos parámetros de revestimiento*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2002. p. 47-78. ISBN: 84-8301-537-4.
4. COGUANOR, Comisión Guatemalteca de Normas. *Norma relacionada con la industria de la construcción*. No. 41066. Guatemala: NGO Organismo Guatemalteco de Normas, 2005. p. 12-18.
5. HUGON, A; SERRE, M. *Enciclopedia de la Construcción, técnicas de Construcción*. España: Editores Técnicos Asociados, 1982. p. 1-13. ISBN: 84-7146-193-5.
6. International Organization for Standardization. *Sistema de la Gestión de Calidad. 9001:2008*. 4a ed. Suiza: ISO Central Secretaria, 2008. p. 8-12.

7. MOLINA KENNETH, Alejandro. *Evaluación de morteros para albañilería y revestimiento elaborados a base de cementos con escorias de hornos*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 65 p.
8. SABÁ MEDRANO, Carlos Eduardo. *Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 125 p.
9. UNE, Una Norma Española. *Método de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 12: Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros para revoco y enlucido endurecidos aplicados sobres soportes*. Madrid: AENOR, 2000. 14 p.

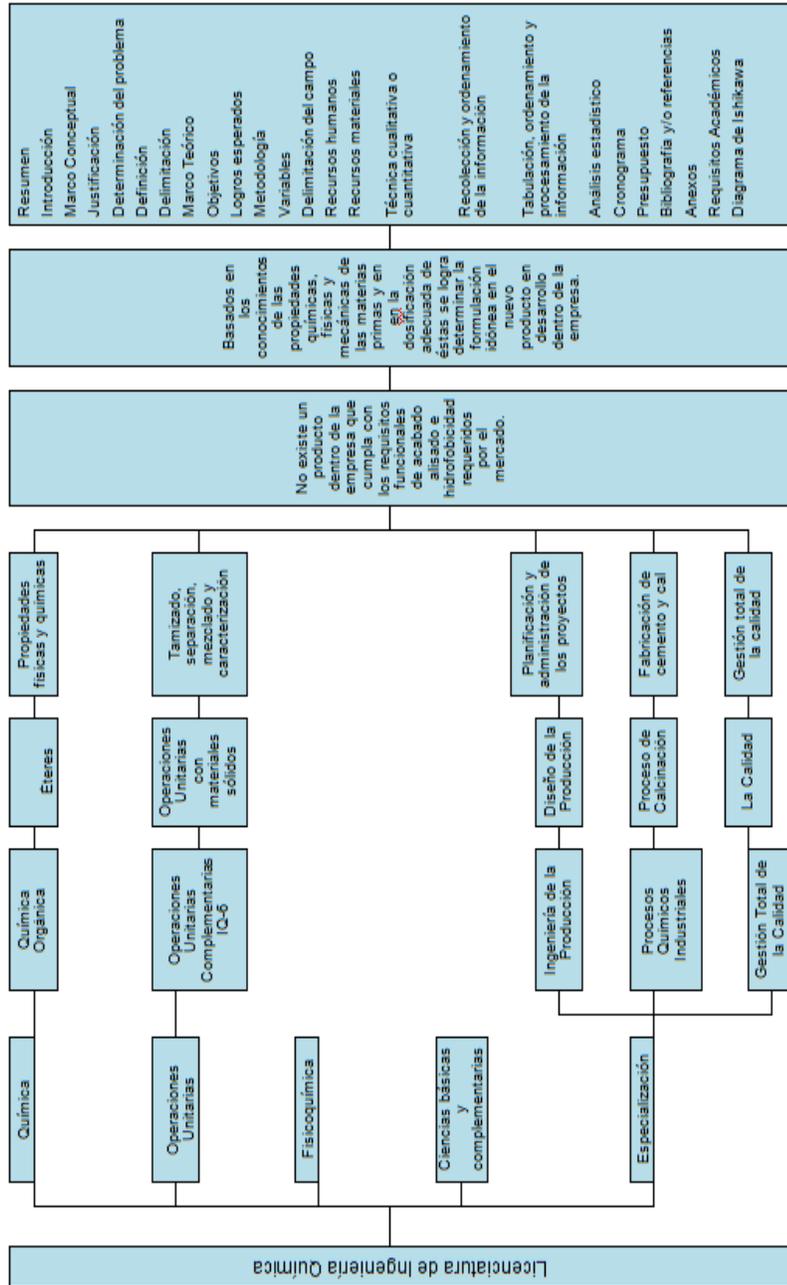
APÉNDICES

Apéndice 1. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de cursos



Fuente: elaboración propia.