



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE  
EMPASTES PARA INTERIORES Y EXTERIORES CON EL USO  
DE POLVO DE CAL PARA LA EMPRESA MINABRADEC CIA.  
LTDA”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTOR: MICHELLE ESTHEFANÍA ROLDÁN INCA**

**DIRECTOR: ING. MARCO RAUL CHUIZA ROJAS**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2020**

© 2020, Michelle Esthefanía Roldán Inca

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Michelle Esthefanía Roldán Inca portadora de la cédula 0604583179; declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados expuestos son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 20 de julio de 2020

A handwritten signature in black ink, reading "Michelle Esthefanía Roldán Inca". The signature is written in a cursive style with a large, sweeping flourish at the end.

**Michelle Esthefanía Roldán Inca**

**C.I. 0604583179**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El proyecto Técnico: **“DISEÑO DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE EMPASTES PARA INTERIORES Y EXTERIORES CON EL USO DE POLVO DE CAL PARA LA EMPRESA MINABRADEC CIA. LTDA”**, de responsabilidad de la señorita MICHELLE ESTHEFANÍA ROLDÁN INCA ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

|   | <b>FIRMA</b>  | <b>FECHA</b>       |
|---|---|--------------------|
| Ing. Segundo Hugo Calderón<br><b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>              | <br><small>Firmado electrónicamente por:</small><br><b>SEGUNDO HUGO</b>                | <u>20-07- 2020</u> |
| Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas<br><b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b> | <br><small>Firmado electrónicamente por:</small><br><b>MARCO RAUL CHUIZA</b>           | <u>20-07- 2020</u> |
| Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes<br><b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>           | <br><small>Firmado electrónicamente por:</small><br><b>PAUL GUSTAVO PALMAY PAREDES</b> | <u>20-07- 2020</u> |

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi madre, mi mejor amiga, Marcela Inca, su inmenso amor estuvo siempre presente en cada etapa, su fortaleza inagotable estuvo acompañándome cuando ni yo misma la tenía, su ejemplo de humildad, lealtad, honradez, honestidad me llevaron a alcanzar esta meta con éxito, agradezco tanto a Dios por la madre que me concedió, sin duda este logro no es solo mío, también es de ella. Le dedico todos mis años de estudio y sacrificio a la mujer que nunca me abandono y que hizo todo lo posible porque la vida se me fuera más fácil y bonita a pesar de las circunstancias. A mis hermanos como muestra de que todo lo que se propongan con esfuerzo lo lograrán, ustedes ñañitos son el motor de mis días, deseo convertirme en un ejemplo para ustedes. Los amos familia.

Michelle.

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por iluminar y guiar cada uno de mis pasos, por haberme otorgado la sabiduría necesaria para culminar con esta etapa.

A mis padres quienes son mi principal pilar en la vida, su fuerza, positivismo y confianza en mí, me han incentivado a alcanzar cada logro, me han demostrado que su muestra de amor es infinita, nunca me soltaron a pesar de las circunstancias. A Diego, quien estuve al pie del cañón durante todos estos años apoyándome no solo a mí en este recorrido, sino también a mi familia.

A mis hermanos, tíos, primos que de una u otra forma colaboraron en mi formación profesional y estuvieron prestos a cualquier cosa que necesitase.

A mis amigas fueron un gran aporte en mi desarrollo profesional y personal, siempre estuvieron impulsándome a dar todo de mí, agradezco cada virtud, cada enseñanza, sin duda su amistad genero cambios significativos en mi vida. A mi mejor amigo, eres el ejemplo de responsabilidad, humildad, honestidad y bondad, tu desinteresada ayuda estuvo presente desde tiempos inmemorables.

Gracias al Ing. Marco Chuiza siempre dispuesto a compartir sus conocimientos, siendo un aporte importante en la resolución de este trabajo.

Agradezco infinitamente al Ing. Paul Palmay, por haber guiado este trabajo de titulación, por siempre estar disponible ante cualquier inconveniente, mostrando su lado positivo en el desarrollo del mismo.

Agradezco de igual forma a la Empresa Minabradec CIA LTDA por la apertura y la predisposición para poder desarrollar el presente trabajo de titulación.

Además, quiero agradecer a los docentes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, su arduo trabajo diario en los salones y fuera de ellos, por y para los estudiantes, enseñándoles no solamente a ser buenos profesionales sino también buenas personas, han demostrado la calidad de docentes que cuenta la misma.

Michelle.

## ABREVIATURAS

|                    |  |
|--------------------|--|
| A. d. E.           | Adhesión del empaste                       |
| $C_m$              | Capacidad del mezclador                    |
| $C^*$              | Caudal de caolín                           |
| E                  | Caudal de empaste                          |
| CB                 | Caudal de cemento blanco                   |
| cP                 | Centipoise                                 |
| $\Delta E$         | Colorimetría del empaste                   |
| $\rho$             | Densidad del empaste                       |
| H                  | Entalpía                                   |
| $^{\circ} C$       | Grados centígrados                         |
| m                  | Masa del empaste                           |
| $m_{EC}$           | Masa del empaste comercial                 |
| $m_f$              | Masa de la formulación óptima              |
| $\mu m$            | Micrómetros                                |
| T1                 | Primer tratamiento                         |
| X%                 | Porcentaje de cal en el empaste            |
| Y%                 | Porcentaje de caolín en el empaste         |
| Z%                 | Porcentaje de cemento blanco en el empaste |
| $f$                | Rango de seguridad                         |
| $\varepsilon_{EC}$ | Rendimiento del empaste comercial          |
| $\varepsilon_F$    | Rendimiento del empaste formulado          |
| T2                 | Segundo tratamiento                        |
| $t$                | Tiempo de mezclado                         |
| $t_1$              | Tiempo de secado en la primera capa        |
| $t_2$              | Tiempo de secado en la segunda capa        |
| T3                 | Tercer tratamiento                         |
| T. E. aplicado     | Textura del empaste aplicado               |
| T. E. seco         | Textura del empaste seco                   |
| Ton                | Toneladas                                  |
| $\mu$              | Viscosidad dinámica                        |
| $v$                | Volumen del empaste                        |

## TABLA DE CONTENIDO

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| ÍNDICE DE TABLAS.....      | xii   |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....     | xiii  |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS.....    | xiv   |
| ÍNDICE DE ECUACIONES ..... | xv    |
| ÍNDICE DE REACCIONES ..... | xvi   |
| ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS..... | xvii  |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....     | xviii |
| RESUMEN .....              | xix   |
| ABSTRACT.....              | xx    |
| INTRODUCCIÓN .....         | 1     |

### CAPÍTULO I

|       |                                    |   |
|-------|------------------------------------|---|
| 1.1   | Antecedentes.....                  | 2 |
| 1.2   | Objetivos de proyecto .....        | 3 |
| 1.2.1 | <i>Objetivo General</i> .....      | 3 |
| 1.2.2 | <i>Objetivos Específicos</i> ..... | 3 |

### CAPÍTULO II

|       |   |   |
|-------|---|---|
| 2.1   | Antecedentes de la empresa.....                       | 4 |
| 2.1.1 | <i>Minabradec Cía. Ltda.</i> .....                    | 4 |
| 2.1.2 | <i>Proceso productivo de elaboración de cal</i> ..... | 5 |
| 2.1.3 | <i>Descripción del proceso</i> .....                  | 6 |
| 2.2   | Bases teóricas .....                                  | 7 |



|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>2.2.1</b> | <b><i>Recubrimientos arquitectónicos</i></b> ..... | <b>7</b>  |
| <b>2.2.2</b> | <b><i>Empaste</i></b> .....                        | <b>9</b>  |
| <b>2.2.3</b> | <b><i>Industria del empaste</i></b> .....          | <b>10</b> |
| <b>2.2.4</b> | <b><i>Constitución del empaste</i></b> .....       | <b>11</b> |
| 2.2.4.1      | <i>Cal</i> .....                                   | 11        |
| 2.2.4.2      | <i>Caolín</i> .....                                | 14        |
| 2.2.4.3      | <i>Cemento blanco</i> .....                        | 15        |
| 2.2.4.4      | <i>Resina Acrílica</i> .....                       | 16        |
| 2.2.4.5      | <i>Aditivos</i> .....                              | 17        |
| 2.2.4.6      | <i>Agua</i> .....                                  | 18        |
| <b>2.2.5</b> | <b><i>Normativa nacional vigente</i></b> .....     | <b>18</b> |
| <b>2.3</b>   | <b>Definición de conceptos</b> .....               | <b>19</b> |
| <b>2.3.1</b> | <b><i>Variables del proyecto</i></b> .....         | <b>19</b> |
| <b>2.4</b>   | <b>Beneficiarios directos e indirectos</b> .....   | <b>21</b> |
| <b>2.4.1</b> | <b><i>Beneficiarios directos</i></b> .....         | <b>21</b> |
| <b>2.4.2</b> | <b><i>Beneficiarios indirectos</i></b> .....       | <b>21</b> |

### **CAPÍTULO III**

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>3.1</b> | <b>Localización del proyecto</b> .....                         | <b>22</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Ingeniería del proyecto</b> .....                           | <b>23</b> |
| 3.2.1      | <i>Tipo de trabajo</i> .....                                   | 23        |
| 3.2.2      | <i>Nivel de la investigación para el trabajo técnico</i> ..... | 23        |
| 3.2.2.1    | Estudio de intervención.....                                   | 23        |
| 3.2.2.2    | Muestreo .....   | 23        |
| 3.2.2.3    | Tamaño de la muestra .....                                     | 24        |
| <b>3.3</b> | <b>Etapas del proyecto</b> .....                               | <b>24</b> |
| 3.3.1      | <i>Etapa 1: Caracterización de la materia prima</i> .....      | 24        |
| 3.3.2      | <i>Etapa 2: Desarrollo de la fórmula para el empaste</i> ..... | 28        |

|         |   |           |
|---------|---|-----------|
| 3.3.2.1 | Identificación de variables .....   | 30        |
| 3.3.2.2 | Ensayos de la parte experimental .....  | 31        |
| 3.3.3   | <i>Etapa 3: Elaboración del diseño del proceso para la obtención de empaste .....</i>   | <b>33</b> |
| 3.3.4   | <i>Etapa 4: Caracterización del producto elaborado comparando con un empaste comercial mediante la norma INEN 8130 para recubrimientos en polvo. ....</i> | <b>35</b> |
| 3.3.4.1 | Densidad del empaste .....  | 35        |
| 3.3.4.2 | Rendimiento del empaste .....   | 36        |

## **CAPÍTULO IV**

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>4.1</b>   | <b>Caracterización de la materia prima .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>Desarrollo de la formulación para el empaste .....</b>  | <b>38</b> |
| <b>4.2.1</b> | <b><i>Resultados de los análisis sensoriales del empaste de interiores y exteriores. ....</i></b>  | <b>38</b> |
| 4.2.1.1      | <i>Textura del empaste al aplicarlo (T.E. aplicado).....</i>   | 40        |
| 4.2.1.2      | <i>Textura del empaste seco (T. E seco).....</i>   | 40        |
| 4.2.1.3      | <i>Adhesión del empaste (A. d. E.) .....</i>   | 41        |
| <b>4.2.2</b> | <b><i>Resultados de las variables físico-químicas del empaste de interiores y exteriores. .42</i></b>  |           |
| 4.2.2.1      | <i>Potencial de hidrogeniones (pH) .....</i>   | 43        |
| 4.2.2.2      | <i>Viscosidad dinámica (<math>\mu</math>).....</i>   | 43        |
| 4.2.2.3      | <i>Tiempo de secado en la primera capa (<math>t_1</math>).....</i>   | 44        |
| 4.2.2.4      | <i>Tiempo de secado en la segunda capa (<math>t_2</math>).....</i>   | 45        |
| 4.2.2.5      | <i>Colorimetría del empaste (<math>\Delta E</math>) .....</i>  | 46        |
| <b>4.3</b>   | <b>Diseño del proceso para la obtención de empaste.....</b>  | <b>46</b> |
| <b>4.3.1</b> | <b><i>Molino .....</i></b>   | <b>51</b> |
| <b>4.3.2</b> | <b><i>Ciclón .....</i></b>   | <b>51</b> |
| <b>4.3.3</b> | <b><i>Balance de masa del molino y el ciclón .....</i></b>   | <b>53</b> |
| <b>4.3.4</b> | <b><i>Mezclador.....</i></b>   | <b>55</b> |
| <b>4.3.5</b> | <b><i>Empacado.....</i></b>  | <b>57</b> |
| <b>4.4</b>   | <b>Caracterización del producto elaborado comparando con el empaste comercial mediante la norma INEN 8130 para recubrimientos en polvo. ....</b> | <b>57</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <i>4.4.1 Densidad del empaste</i> .....    | 57        |
| <i>4.4.2 Rendimiento del empaste</i> ..... | 57        |
| <b>CONCLUSIONES</b> .....                  | <b>59</b> |
| <b>RECOMENDACIONES</b> .....               | <b>60</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                        |           |
| <b>ANEXOS</b>                              |           |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Tabla 1-3:</b> | Localización del proyecto.....   | 22 |
| <b>Tabla 2-3:</b> | Compuestos analizados en el equipo de espectroscopía de fluorescencia de rayos X.....    | 28 |
| <b>Tabla 3-3:</b> | Formulaciones para el empaste de interiores y exteriores.....                            | 28 |
| <b>Tabla 4-3:</b> | Variables del ensayo de formulación de empaste. ....                                     | 31 |
| <b>Tabla 5-3:</b> | Tabla de valoración para las variables sensoriales.....                                  | 31 |
| <b>Tabla 1-4:</b> | Resultados de la caracterización del cemento blanco, cal y caolín. ....                  | 37 |
| <b>Tabla 2-4:</b> | Formulaciones para el empaste de interiores y exteriores.....                            | 38 |
| <b>Tabla 3-4:</b> | Datos obtenidos para cada variable sensorial. ....                                       | 39 |
| <b>Tabla 4-4:</b> | Resultados de las variables sensoriales de las diferentes formulaciones de empaste. .... | 39 |
| <b>Tabla 5-4:</b> | Datos obtenidos de las variables físico-químicas. ....                                   | 42 |
| <b>Tabla 6-4:</b> | Resultados de las variables físico - químicas de las formulaciones de empaste...42       |    |
| <b>Tabla 7-4:</b> | Datos obtenidos de densidad del empaste óptimo.....                                      | 57 |
| <b>Tabla 8-4:</b> | Datos obtenidos de la pared cubierta con los empastes óptimo y comercial. ....           | 57 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Figura 1-2:</b> | Diagrama de flujo del proceso productivo de la cal.....                       | 5  |
| <b>Figura 2-2:</b> | Características técnicas de los tipos de cal según UNE4 41.067-8 .....        | 13 |
| <b>Figura 3-2:</b> | Adhesión y cohesión del empaste.....  | 17 |
| <b>Figura 1-3:</b> | Mapa geo-referencial.....   | 22 |
| <b>Figura 2-3:</b> | Fases de experimentación para determinar la formulación óptima de empaste.... | 24 |
| <b>Figura 3-3:</b> | Línea de producción de cal de la empresa Minabradec Cía. Ltda. ....           | 34 |
| <b>Figura 4-3:</b> | Balance de masa del equipo mezclador para la preparación de empaste. ....     | 34 |
| <b>Figura 1-4:</b> | Línea de producción de empaste para Minabradec CIA LTDA. ....                 | 50 |
| <b>Figura 2-4:</b> | Diagrama de flujo del balance de masa entre molino y ciclón. ....             | 53 |
| <b>Figura 3-4:</b> | Balance de masa del equipo mezclador para la preparación de empaste. ....     | 55 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| <b>Gráfico 1-2:</b> Aporte histórico de los sectores al PIB ecuatoriano.....   | 10 |
| <b>Gráfico 1-4:</b> Relación de los principales componentes del caolín, cal y cemento blanco.....                            | 38 |
| <b>Gráfico 2-4:</b> Textura de las cinco formulaciones en comparación con el empaste comercial. .                            | 40 |
| <b>Gráfico 3-4:</b> Textura de las cinco formulaciones en comparación con el empaste comercial. .                            | 41 |
| <b>Gráfico 4-4:</b> Adhesión de empaste en las cinco formulaciones en función del empaste comercial.....                     | 41 |
| <b>Gráfico 5-4:</b> pH de las cinco formulaciones en comparación con el empaste comercial. ....                              | 43 |
| <b>Gráfico 6-4:</b> Viscosidad de las cinco formulaciones en comparación con el empaste comercial.....                       | 44 |
| <b>Gráfico 7-4:</b> Tiempo de secado de la capa uno en las cinco formulaciones en comparación con el empaste comercial. .... | 45 |
| <b>Gráfico 8-4:</b> Tiempo de secado de la capa dos en las cinco formulaciones en comparación con el empaste comercial. .... | 45 |
| <b>Gráfico 9-4:</b> Colorimetría de las cinco formulaciones en comparación con el empaste comercial.....                     | 46 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|   |    |
|---|----|
| <b>Ecuación 1-3:</b> Caudal de empaste de interiores y exteriores ..... | 34 |
| <b>Ecuación 2-3:</b> Caudal de empaste de interiores y exteriores ..... | 35 |
| <b>Ecuación 3-3:</b> Caudal de empaste de interiores y exteriores ..... | 35 |
| <b>Ecuación 4-3:</b> Caudal de empaste de interiores y exteriores ..... | 35 |
| <b>Ecuación 5-3:</b> Caudal de empaste de interiores y exteriores ..... | 35 |
| <b>Ecuación 6-3:</b> Caudal de empaste de interiores y exteriores ..... | 36 |
| <b>Ecuación 7-3:</b> Caudal de empaste de interiores y exteriores ..... | 36 |

## ÍNDICE DE REACCIONES

|   |    |
|---|----|
| <b>Reacción 1-2:</b> Calcinación de piedra caliza .....   | 11 |
| <b>Reacción 2-2:</b> Hidratación de cal viva 12 .....     | 12 |
| <b>Reacción 3-2:</b> Carbonatación de cal hidratada ..... | 12 |



## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

|                         |  |    |
|-------------------------|--|----|
| <b>Fotografía 1-3:</b>  | Equipo de espectroscopía de .....  | 25 |
| <b>Fotografía 2-3:</b>  | Ciclón de Minabradec CIA. LTDA.....  | 25 |
| <b>Fotografía 3-3:</b>  | Prensa automática del laboratorio de Cemento Chimborazo.....                   | 26 |
| <b>Fotografía 4-3:</b>  | Placa metálica de prensado. ....   | 26 |
| <b>Fotografía 5-3:</b>  | Pastilla de cal. ....  | 26 |
| <b>Fotografía 6-3:</b>  | Determinación de la composición de la cal en el equipo de espectroscopía. .... | 27 |
| <b>Fotografía 7-3:</b>  | Resultados de la caracterización de la cal. ....                               | 27 |
| <b>Fotografía 8-3:</b>  | Pesaje de los componentes de cada formulación. ....                            | 29 |
| <b>Fotografía 9-3:</b>  | Empaste formulado.....   | 29 |
| <b>Fotografía 10-3:</b> | Aplicación de la primera capa de empaste formulado. ....                       | 30 |
| <b>Fotografía 11-3:</b> | Aplicación de la segunda capa de empaste formulado. ....                       | 30 |
| <b>Fotografía 1-4:</b>  | Molino de pulverización .....  | 51 |
| <b>Fotografía 2-4:</b>  | Ciclón 1 .....   | 52 |
| <b>Fotografía 3-4:</b>  | Ciclón 2 .....   | 53 |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** DATOS OBTENIDOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE CAOLÍN.

**ANEXO B:** DATOS OBTENIDOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE CAL.

**ANEXO C:** DATOS OBTENIDOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO BLANCO

**ANEXO D:** NORMATIVA NTE INEN 8130-3:2014

**ANEXO E:** PROTOTIPO DEL MEZCLADOR

## RESUMEN

El presente proyecto tiene por objetivo el diseño de la línea de producción para la elaboración de empaste bicomponente de aplicación interior y exterior utilizando como agregado polvo de cal para la empresa Minabradec CIA. LTDA., con la finalidad de darle un valor agregado a la cal e incursionar en un nuevo mercado. Se realizó la parte experimental en cuatro etapas en las cuales se caracterizó los agregados (la cal y el caolín) producidos en las instalaciones de la empresa mediante espectroscopia de fluorescencia de rayos X, se obtuvo la formulación óptima de empaste bicomponente de la combinación de cal, caolín, cemento blanco, resina y agua. La formulación se comparó con un empaste comercial en términos de textura, coloración, adhesión, tiempo de fraguado y rendimiento del empaste, partiendo de las variables de diseño obtenidas a nivel de laboratorio se diseñó la línea de producción para la obtención del empaste y finalmente se caracterizó el producto obtenido mediante la normativa NTE INEN 8130-3:2014. La línea de producción de empaste para interiores y exteriores fue diseñada concluyendo que este proyecto es completamente viable en términos de calidad y cantidad de empaste bicomponente a base de cal y está lista para ser implementada en la empresa Minabradec CIA LTDA.

## PALABRAS CLAVE:

<INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA> <CARACTERIZACIÓN DE CAL>  
<CARACTERIZACIÓN DE CAOLÍN> <EMPASTE BICOMPONENTE> <LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE EMPASTE>



18-06-2020

0069-DBRAI-UPT-2020

## **ABSTRACT**

The present project has as aim to design the production line for the elaboration of a bicomponent filling for interior and exterior applications using lime powder as an aggregate for the company Minabradec CIA. LTDA. In order to give added value to lime and enter a new market. The experimental part was carried out in four stages in which the aggregates (lime and kaolin) produced in the company's facilities were characterized by X-ray fluorescence spectroscopy, obtaining the optimal formulation of bicomponent filling of the lime combination, kaolin, white cement, resin, and water. The formulation was compared with a commercial filling in terms of texture, coloration, adhesion, setting time and performance of the filling, based on the design variables obtained at the laboratory level, the production line was designed to obtain the filling and finally characterized the product obtained through the NTE INEN 8130-3: 2014 standard. The indoor and outdoor filling production line was designed concluding that this project is completely viable in terms of quality and quantity of bicomponent lime-based filling and it is ready to be implemented in the company Minabradec CIA LTDA.

## **KEYWORDS:**

<ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY> <CHARACTERIZATION OF LIME>  
<CHARACTERIZATION OF KAOLIN> <BICOMPONENT PLASTER> <LINE OF PRODUCTION OF PLASTER>

## **INTRODUCCIÓN**

Desde el inicio del milenio el panorama económico ecuatoriano muestra una gran dependencia de la construcción destacándolo como el cuarto mayor sector de nuestra economía razón por la cual la necesidad del desarrollo de materiales de construcción de buena calidad y precios de venta accesibles es evidente para abastecer una demanda latente y exponencial.

La gran demanda en la construcción de edificios y viviendas en el Ecuador influye directamente en el crecimiento del mercado de recubrimientos los cuales cada vez deben cumplir más exigencias de calidad para satisfacer a las necesidades del cliente. El efecto visual de una obra arquitectónica depende en gran medida de la textura que presentan las superficies interiores y exteriores, aspecto al cual el empaste brinda un acabado extra liso listo para ser pintado.

Ecuador posee una amplia diversidad mineralógica que facilita el desarrollo de la industria de la construcción para la creación de varios tipos de materiales, entre ellos los recubrimientos a base de cal. Minabradec CIA LTDA., ubicada en la provincia de Chimborazo, en alianza con la cantera de la comunidad de Shobol producen polvo de cal que se distribuye directamente como producto final, sin embargo, la creciente demanda del sector de la construcción del centro del país y la facilidad de apertura al mercado de los recubrimientos por la disposición de su materia prima principal, han motivado a la empresa a incursionar en la producción de un empaste a base de cal para interiores y exteriores.

Para la elaboración de este empaste Minabradec CIA LTDA., se ha visto en la necesidad del diseño de una línea de producción para empaste de interiores y exteriores, trabajo que se ve plasmado en este proyecto partiendo de bases sólidas y cuantificables como la caracterización de materias primas, determinación de la formulación óptima y finalmente el diseño del proceso productivo.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Antecedentes

La empresa Minabradec Cía. Ltda., se dedica a la producción de materiales abrasivos, liderando la venta de productos como la granalla, y a la pulverización de cal con una granulometría de 44  $\mu\text{m}$ . La cal se caracteriza por ser un excelente material que aporta cuerpo a los recubrimientos arquitectónicos conjuntamente con resina acrílica, dispersante, aditivos y agua en la formación de empastes, producto en el cual la empresa ha considerado invertir por la disponibilidad de uno de los insumos elementales. (Paredes, 2017, p. 18)

La Cámara de Industrias de Guayaquil en su reporte sobre el Panorama Económico Ecuatoriano en 2019 destacó a la construcción como el cuarto mayor sector de nuestra economía mostrando la necesidad del desarrollo de recubrimientos que abastezcan el negocio de los materiales de construcción exigiendo permanente innovación en términos de calidad y precios de venta accesibles en el mercado. (Cámara de Industrias de Guayaquil, 2019, p. 1)

La importancia de la formulación de un empaste bicomponente para superficies exteriores e interiores y el diseño de su correspondiente línea de producción radica en la implementación de un nuevo producto a la venta a cargo de Minabradec Cía. Ltda., dando un valor agregado a uno de los productos del actual catálogo de la empresa. De esta manera la reducción de costos de materia prima, tratamientos, transporte y las ganancias producidas por la nueva línea de producción sería evidente mejorando la estabilidad financiera de la compañía e incrementando su reputación en el mercado de la construcción con la ampliación del directorio de productos que ofrece. (Minabradec CIA. LTDA, 2020, pp. 2-4)

Además, la necesidad de personal capacitado para la elaboración del nuevo producto es inminente incrementando las plazas de trabajo en la ciudad de Riobamba, hecho que mantendrá e impulsará la posición académica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en beneficio mutuo con la empresa Minabradec Cía. Ltda.

Se espera que el diseño de este proceso para la elaboración de empaste cumpla con las necesidades de las empresas constructoras, arquitectos, albañiles y demás personas que estén relacionados con la industria arquitectónica en términos de calidad y precio, y por ende se disminuya las importaciones de este producto dando realce a la industria ecuatoriana.

El presente proyecto radica en diseñar el proceso de elaboración de empaste bicomponente para interiores y exteriores a partir de la caracterización de la cal producida por la empresa Minabradec Cía. Ltda., desarrollo de la formulación y caracterización del producto final según la normativa NTE INEN 8130 en términos de rendimiento de aplicación, resistencia, colorimetría y determinación del tiempo de gelificación, a fin de garantizar calidad, precio y competitividad del empaste.

## **1.2 Objetivos de proyecto**

### **1.2.1 *Objetivo General***

Diseñar el proceso para la elaboración de empastes para interiores y exteriores para la empresa MINABRADEC CIA. LTDA.

### **1.2.2 *Objetivos Específicos***

- Realizar la caracterización de la materia prima.
- Desarrollar una formulación para un empaste con polvo de cal de buenas condiciones y propiedades.
- Elaborar el diseño del proceso para la obtención de empastes.
- Caracterizar el producto elaborado comparando con la norma INEN 8130 para recubrimientos en polvo.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1 Antecedentes de la empresa

##### 2.1.1 *Minabradec Cía. Ltda.*

La empresa Minabradec Cía. Ltda., fundada en la ciudad de Riobamba en el año 2002., es una compañía limitada que elabora minerales abrasivos en general y cal pulverizada. Se categoriza como una pequeña empresa que cuenta con 6 trabajadores. La materia prima para la elaboración de cal se obtiene a partir de piedra caliza extraída de la cantera de la comunidad de Shobol en la parroquia San Juan provincia de Chimborazo. Actualmente cuenta con una capacidad instalada para producir 90 toneladas de cal al mes, satisfaciendo la demanda de varios clientes que se encargan de la distribución en el mercado nacional y otros que lo utilizan para su propio beneficio en el ámbito de la construcción. El producto es elaborado de manera informal por consiguiente no cumple con normativas nacionales y no cuenta con las especificaciones dadas por el fabricante. (Minabradec CIA. LTDA, 2020, p. 2)

Minabradec Cía. Ltda., en alianza con la cantera de la comunidad de Shobol realizan todo el proceso de producción de cal separando las operaciones unitarias que se utilizan, la cantera Shobol se encarga de la extracción de la piedra, fragmentación, tamizado, calcinación e hidratación, mientras que Minabradec Cía. Ltda., otorga los toques finales al producto aportando con la molienda, tamizado y empaquetado. Esta cooperación resulta de gran beneficio para ambas empresas debido a que la explotación y producción de cal aporta ganancias económicas para ambas partes. (Minabradec CIA. LTDA, 2020, p. 2)

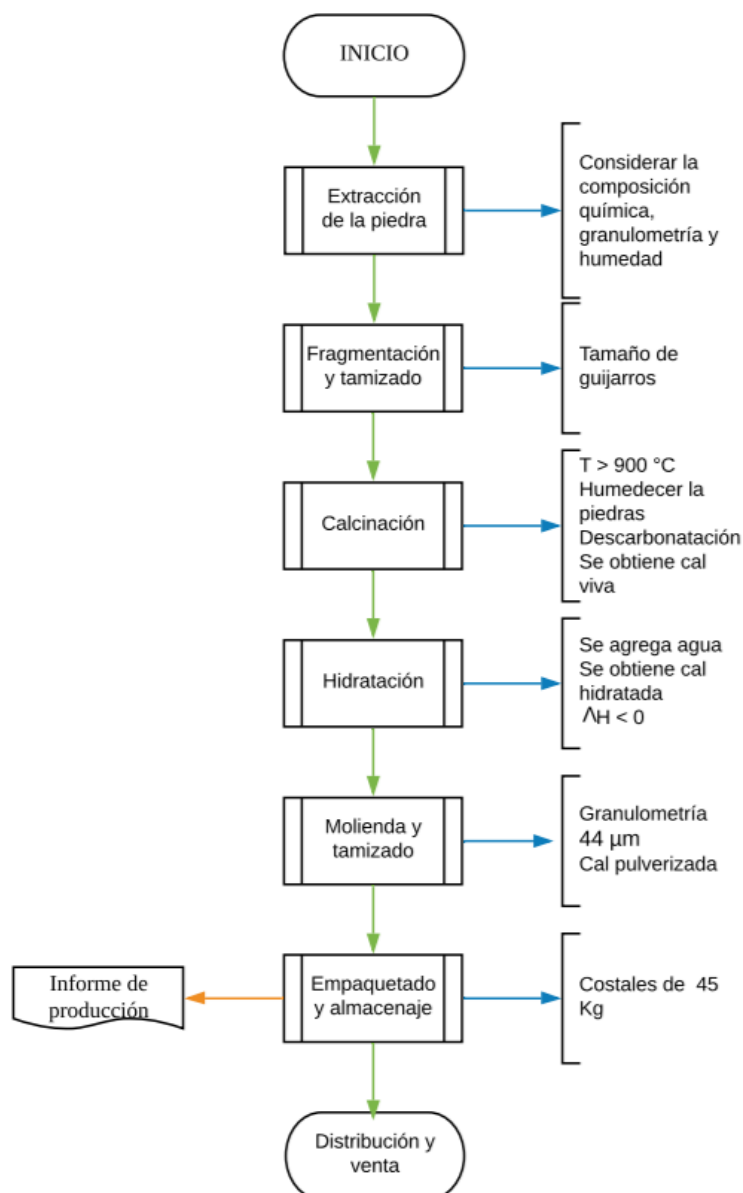
La empresa aun en vías de desarrollo no cuenta con un laboratorio de calidad razón por la cual los análisis de cualquier índole se realizan en laboratorios acreditados exteriores, entre ellos el laboratorio Cesta de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo con la finalidad de certificar la calidad de los productos existentes y la implementación de nuevas posibilidades de crecimiento en el mercado de la construcción, como la elaboración de empaste a partir de la cal ya producida. La empresa no cuenta con investigaciones oficiales propias por ello las modificaciones en la



elaboración de minerales abrasivos y cal pulverizada se fundamentaban en el conocimiento experimental de sus trabajadores y proveedores. (Minabradec CIA. LTDA, 2020, pp. 1)

La cal de Minabradec Cía. Ltda., se caracteriza por su permeabilidad al vapor de agua en términos de absorción y retención de agua, rendimiento debido a su particular densidad y finura granulométrica de 44  $\mu\text{m}$ , similar a la granulometría de las harinas de la industria alimenticia. Es importante mencionar que la cal elaborada corresponde al 20 % de la producción anual de la empresa y se distribuye en empaques de 45 kg para su venta. (Minabradec CIA. LTDA, 2020, pp. 1)

### 2.1.2 *Proceso productivo de elaboración de cal*



**Figura 1-2:** Diagrama de flujo del proceso productivo de la cal.  
Realizado por: Michelle Roldán, 2020

### 2.1.3 Descripción del proceso

Minabradec Cía. Ltda., y cantera de la comunidad de Shobol para la producción de cal realizan las siguientes operaciones:

- a. Fragmentación y tamizado: La finalidad de estas operaciones es la reducción del tamaño de las piedras calizas cuya composición química y humedad son conocidas, para ello se utiliza una trituradora fija de mandíbula reduciendo la granulometría de la piedra caliza en un rango de 4 mm a 64 mm para facilitar el ingreso de esta materia prima a la siguiente fase.
- b. Calcinación: Este proceso consiste en la exposición de la piedra húmeda de granulometría específica a temperaturas mayores a 900 °C, la presencia de agua de la cantera facilita la descomposición. La reacción química a producirse es la combustión del carbonato de calcio dando como resultado la cal y dióxido de carbono, este último debe ser aspirado rápidamente del horno debido a que la reacción es reversible y existe mayor posibilidad de que la cal viva se carbonate. Para esta etapa la cantera de Shobol utiliza tres hornos intermitentes de ladrillo de 7 metros de altura y forma ovalada, el combustible utilizado es carbón ligero y aceite residual de carros.
- c. Hidratación: En esta fase se realiza el apagado de la cal viva añadiendo agua mediante inmersión donde se sumerge la cal de tamaño de nueces en agua durante un minuto hasta producirse una efervescencia. Posteriormente se saca la cal y se la vierte en la superficie en forma de montones para que se reduzca a polvo.
- d. Molienda y tamizado: Se utiliza un molino de bolas para disminuir la granulometría de la cal apagada, se tamiza la cal para obtener granulometría de 44  $\mu\text{m}$  y se ingresa a dos separadores ciclónicos con realimentación con la finalidad de controlar la granulometría enviando a pulverizar por segunda vez el producto que no cumple, eliminar la suciedad y disminuir el porcentaje de humedad de la cal mediante un flujo de aire.
- e. Empaquetado: Se coloca 45 kg de la cal producida en costales, para ello se utiliza una tolva y una balanza industrial, finalmente se cose el borde del empaque para sellar y evitar pérdidas del producto.

(Minabradec CIA. LTDA, 2020, pp. 3–4)

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 *Recubrimientos arquitectónicos***

Desde nuestros antepasados el uso de recubrimientos arquitectónicos se ha ido desarrollando a gran velocidad debido a las necesidades estéticas y funcionales que estos materiales ofrecen a las construcciones. Cal, arcilla, lodo, arena entre otros son considerados de los componentes más antiguos para la construcción de refugios, otorgando protección frente a las condiciones ambientales y un acabado que mejora la presencia de la edificación. (Arquba, 2019, p. 7)

En la actualidad la mayoría de edificaciones, desde pequeñas casas hasta imponentes rascacielos pasando por cualquier tipo de construcción, presentan una gran variedad de materiales de construcción. En las edificaciones los materiales como la piedra, mampostería, ladrillos y hormigón son de los más empleados, sin embargo, todos ellos después de cimentados son recubiertos con materiales que ofrecen una especie de barrera frente a las variantes condiciones ambientales y una apariencia estética agradable. (Vidaos, 2018, pp. 4–6)

Para el uso de recubrimientos arquitectónicos se debe tomar en consideración la relación precio, diseño, durabilidad y funcionalidad tomando en cuenta el sustrato y las condiciones medioambientales de donde se encuentra ubicada de la edificación. (Los Tiempos, 2018, p. 6)

En base a estas consideraciones los recubrimientos se clasifican por su aplicación en interiores y exteriores:

- **Aplicación en interiores**

Por lo general, la finalidad de la utilización de este tipo de recubrimiento es de carácter estético o decorativo, aunque también se deben incluir características de resistencia físico, química y/o biológica dependiendo de la actividad que vaya a ser realizada dentro de la edificación por ejemplo las actividades dentro de un hospital, una industria o un laboratorio. (Schweigger, 2005, p. 185)

- **Aplicación en exteriores**

La funcionalidad es la finalidad preponderante del uso de recubrimientos para exteriores debido a que las edificaciones se encuentran expuestas constantemente a condiciones

ambientales adversas frente a las cuales deben resistir como la luz solar, humedad, contaminación, lluvias, variaciones de temperatura. (Schweigger, 2005, p.189)

Por otro lado, la apariencia estética exterior de las construcciones también es en nuestros días una característica de status que demuestra el nivel de un trabajo bien hecho.

Los materiales de recubrimientos arquitectónicos más utilizados a día de hoy son:

- **Empaste:** Es una mezcla cal, cemento blanco, resina y agua comúnmente empleada como recubrimiento de superficies interiores y exteriores previo a los acabados de pintura.
- **Yeso:** Se utiliza en la elaboración de morteros simples y bastardos adicionando material fino e inerte para obtener superficies interiores más resistentes.
- **Piedra:** Presentaciones como el adoquín, piedra negra, recinto, piedras lajas son muy empleadas desde años anteriores.
- **Cemento:** Formado a partir de caliza y arcilla calcinada es de los materiales más utilizados para la construcción y revestimientos en forma de morteros.
- **Estuco:** Compuesta por cal apagada, mármol pulverizado y pigmentos naturales.
- **Revoco:** Revestimiento exterior compuesto por mortero de agua, arena y cal que se aplica a una superficie cubierta de cemento.
- **Mortero:** Son mezclas plásticas de aglomerante (yeso y cal; cemento y cal), arena y agua y se utilizan para unir y enlucir las piedras o ladrillos de una edificación

(Arquba, 2019, p. 7; Valdivieso, 2012, p. 28)

Por otro lado, estos materiales pueden ser colocados en diferentes formas de acabado como:

- **Repellado, cerrado y fino:** Se aplica la mezcla con la cuchara, se pasa una regla para dar acabado uniforme a la superficie, el cerrado se realiza sobre el repellado aplicando una capa más delgada y el fono se aplica sobre el cerrado tendiendo una capa de cemento o cal hidra.

- Aplanado a plomo y regla: Se caracterizan por ser de primera calidad, se aplica el material de revestimiento siguiendo la verticalidad de la superficie, la capa final se realiza con mortero simple.

(Arquba, 2019, p. 7)

### **2.2.2 *Empaste***

El empaste es un recubrimiento arquitectónico que se define como una mezcla homogénea de cemento blanco y agregados de piedra caliza con una granulometría controlada, conjuntamente con aditivos químicos, resina y agua, esta última ayuda a la formación de una pasta lista para aplicarse sobre superficies rugosas nivelando el sustrato y adecuándolo para la pintura de acabado. (Schweiggeger, 2005, p. 135)

Los beneficios del uso de empaste son de carácter estético y funcional, este es un material económico que sirve de base para la pintura, se adhiere por completo a la superficie y no se desprende una vez seco, una de sus funciones principales es cubrir pequeñas fisuras brindando una apariencia lisa y uniforme, es impermeable y otorga larga vida a acabados de pintura. (Valdivieso, 2012, p. 22)

Nuestros antepasados utilizaban empastes preparados con cal, yeso o tiza, leche como plastificante, goma arábiga como ligante y agua para la realización de la mezcla. En la actualidad los componentes han sido cambiados por resina acrílica como ligante, dispersantes y aditivos como plastificante – retardante, sin embargo, la utilización de cal como el cuerpo del empaste se ha mantenido debido a las propiedades que esta tiene. (Paredes, 2017, p. 16)

La preparación de las superficies para la aplicación del empaste debe llevarse a cabo revisando que la superficie se encuentre limpia, sana y seca, sin presencia de humedad o manchas, en caso de que existan se deben eliminar lijando, lavando y dejando secar la zona afectada, además, es importante recordar que para la aplicación en edificaciones nuevas se debe esperar un mínimo de seis días para asegurar el éxito de la aplicación sin comprometer la constitución de la superficie.

La preparación del empaste varía según las indicaciones del fabricante y por ende de la presentación del producto, existen empastes monocomponentes y bicomponentes. Los empastes monocomponentes se caracterizan por ser un polvo homogéneo que incluye la resina adhesiva con la única necesidad de añadir agua para activar los aditivos, mientras que los empastes bicomponentes están formados por un componente A, la resina, y un componente B, el polvo, en

cuya preparación se debe diluir la resina en agua y posteriormente añadir el polvo a esta mezcla hasta obtener la consistencia uniforme. (Disensa, 2019, p. 1)

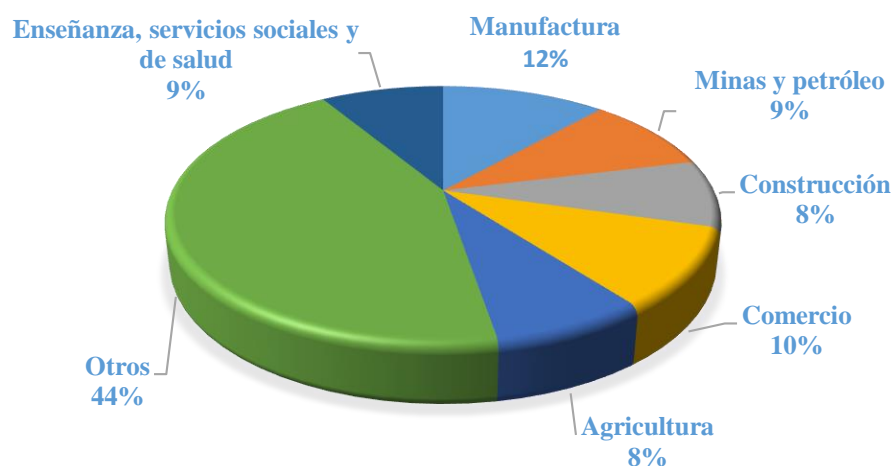
La aplicación debe realizarse alisando la superficie mediante una llana metálica o de madera, en caso de que se desee la superficie picada se debe golpear con un cepillo metálico de alambre fino.

(Arquba, 2019, p. 1)

### 2.2.3 *Industria del empaste*

Ecuador posee una amplia diversidad mineralógica que facilita el desarrollo de la industria de la construcción. Este sector viene a pasos agigantados desde el año 2000 fortaleciéndose en años posteriores y alcanzando en el año 2013 un 10.46 % del PIB (Producto Interno Bruto) según el Ministerio de Finanzas. (Vidaos, 2018, p. 3)

A partir del año 2015 se ha producido una recesión muy significativa, sin embargo, en el boletín macroeconómico emitido en enero del 2019 por Asobanca (Asociación de Bancos del Ecuador), el sector se ubica en el cuarto lugar histórico del PIB con un 8.61% como se muestra en el Gráfico 1-1. (Asobanca, 2019, pp. 4-5)



**Gráfico 1-2:** Aporte histórico de los sectores al PIB ecuatoriano.

Fuente: (Asobanca, 2019, pp. 4-5)

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

Al ser el sector de la construcción una de las industrias más importantes de nuestro país, la producción de materiales es necesaria, en específico el de revestimientos como el empaste. En el

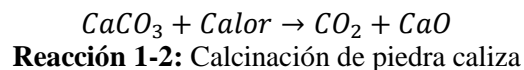
país existen varias empresas que se dedican a fabricación de empastes como Sika, Aditec, Disma, Pinturas Unidas, Pintuco, Intaco, etc., sin embargo, la necesidad de un producto de buena calidad y bajo costo es necesario en una sociedad donde el sector de la construcción crece constantemente, permitiendo de esta manera abastecer la demanda de un mercado que se ha incrementado en un 46.8 % en la última década. (Morocho, 2016, p. 38)

## 2.2.4 Constitución del empaste

### 2.2.4.1 Cal

La cal químicamente se define como un óxido de calcio que se obtiene como resultado de la calcinación de piedra caliza o carbonato de calcio, este material es considerado uno de los químicos versátiles más antiguos que el hombre ha procesado permitiéndole construir civilizaciones enteras. (Asociación Nacional de Fabricantes de Cal, 2016, p. 1–6)

La calcinación de la piedra caliza pura se da a una temperatura superior a 900 °C produciéndose la siguiente reacción química:

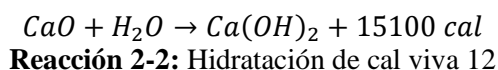


Donde el carbonato de calcio  $CaCO_3$  se descompone en una reacción endotérmica  $\Delta H+$  en dióxido de carbono y óxido de calcio. (Valdivieso, 2012, p. 49)

Dependiendo de la composición química de las piedras calizas se pueden obtener una gran variedad de productos de cal como: cal pura, altamente cálcicas, altamente hidráulicas, con 50 % de CaO y porcentajes aún más bajos. De esta manera la cal se divide en:

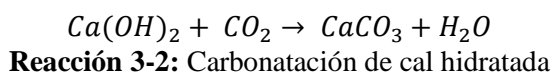
- Cal aérea o cal viva: Es un producto sólido en forma de polvo blanco altamente inestable e higroscópico cuyos componentes químicos principales son el óxido e hidróxido de calcio y magnesio, estos tienden a endurecerse lentamente al aire en presencia de dióxido de carbono, las piedras calizas deben contener un 95 % mínimo de carbonatos para obtener este tipo de cal. (Barrios, 2014, p. 18)

Su facilidad para reaccionar químicamente con el agua se presenta de la siguiente manera:



Donde el óxido de calcio reacciona con el agua produciendo una reacción exotérmica  $\Delta H$ - de 160 °C, e hidróxido de calcio, también conocido con cal hidratada o apagada. La cantidad de agua añadida debe ser la suficiente para formar la cal en polvo caso contrario al adicionar un exceso se obtendrá una cal en pasta. La cal apagada debe poseer cantidades superiores al 80 % de hidróxido de calcio, una granulometría de 95 % en una luz de malla #100 o 150  $\mu\text{m}$ , 0.5 % a 1.5 % de humedad libre y menos del 3 % de óxidos remanentes. (Calidra, 2016, p. 8)

Una de las propiedades más sobresalientes de la cal apagada en pasta es que tiende a fraguarse en el aire razón por la cual es utilizada como carga o aglomerante en la producción de revestimientos. Para el proceso de endurecimiento se evapora el agua de la pasta y posteriormente se da una carbonatación como se muestra en la siguiente reacción química:



De esta manera se reconstituye la caliza que se utilizó en primera instancia en una reacción lenta de secado que dura 6 días para aplicar acabados de pintura y hasta 6 meses para adquirir la solidez definitiva. Por lo general, en el caso de revestimientos esta caliza, hidróxido de calcio deshidratado, esta mezclada con otros componentes como cemento, resina entre otros ayudando al proceso de solidificación. (Valdivieso, 2012, p. 52)

- Cal hidráulica: Es el producto de la calcinación de calizas naturales que contienen un 5 % mínimo de arcillas (sílice y alúmina), tiene la facilidad de fraguarse y endurecerse al estar en forma de pasta mezclada con agua debido a las reacciones de hidrólisis anteriormente explicadas. Una de sus propiedades más importantes es su resistencia y estabilidad en ambientes con alta humedad e incluso debajo del agua. (Rodríguez, 2003, p. 31)
- Cal grasa: Se denomina a la cal como cal grasa en el caso de que la caliza contenga un 5 % máximo de arcillas (sílice y alúmina), esta se caracteriza por formar una pasta fina untuosa y blanca al mezclarse con agua, aumentando su volumen y manteniéndose blanda indefinidamente en ambiente húmedos. (Valdivieso, 2012, p. 53)
- Cal árida o magra: Se denominan de esta manera a las calizas que además de contener un 5 % mínimo de sílice y alúmina, también contienen magnesia en forma de dolomía en un



porcentaje mayor al 10 %. Esta cal al hidratarla forma una pasta de color gris liberando altas cantidades de energía. No es utilizada en el sector de la construcción debido a que al secarse forman polvo y en lugares húmedos se deslíen o disuelven. (Rodríguez, 2003, p. 32)

Según la normativa UNE 41.067-8 las características técnicas de los diferentes tipos de cal se detallan en la Figura 2-2.

| CLASE DE CAL                          | COMPOSICIÓN QUÍMICA         |                                  |  | FINURA:<br>residuo<br>máximo<br>sobre<br>tamices |                | RESISTENCIAS A<br>28 DIAS<br>mortero 1:3      |                                       |
|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--|--|----------------|---|---------------------------------------|
|                                       | CaO+MgO<br>Mínimo<br>-<br>% | CO <sub>2</sub><br>Máx<br>-<br>% | SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>Mínimo<br>-<br>% | 0,2<br>-<br>%                                    | 0,08<br>-<br>% | Flexo-<br>tracción<br>-<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Compresión<br>-<br>Kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>Cal aérea I</b>                    | 90                          | 5                                | -  | 5  | 10             | -   | -                                     |
| <b>Cal aérea II</b>                   | 60                          | 5                                | -  | 15   | -              | -   | -                                     |
| <b>Cal hidráulica<br/>eminente I</b>  | -                           | 5                                | 20   | 3  | -              | 25,0  | 80,0                                  |
| <b>Cal hidráulica<br/>normal II</b>   | -                           | 5                                | 15   | 10   | -              | 12,5  | 40,0                                  |
| <b>Cal hidráulica<br/>mediana III</b> | -                           | 5                                | 10   | 10   | -              | -   | 15,0                                  |

**Figura 2-2:** Características técnicas de los tipos de cal según UNE4 41.067-8  
Fuente: (Valdivieso, 2012, p. 55)

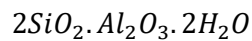
Las pastas, mezclas o morteros que tienen cal entre sus componentes tienen varias ventajas debido a la granulometría que esta presenta, entre las más relevantes tenemos:

- Favorece la trabajabilidad de la mezcla otorgándole características de consistencia, plasticidad, cohesión y adhesión en las fases de aplicación y expansión sobre una superficie. (Paredes, 2017, p. 26)
- Aumenta el porcentaje de retención de agua permitiendo la fácil aplicación y manipulación de la mezcla, además cubre totalmente la presencia de grietas reduciendo la posibilidad de problemas futuros como la humedad y deterioro. (Calidra, 2016, pp. 1–6)

- Mayor rendimiento y adherencia de la mezcla evitando la presencia de grietas por la fina granulometría de la cal que a la vez otorga cuerpo e incrementa el rendimiento de la mezcla. (Paredes, 2017, p. 26)
- Endurecimiento completo debido a la correcta hidratación de la mezcla, a pesar de que el tiempo de espera para la solidificación es largo nos garantiza una óptima adherencia a la superficie aplicada. (Calidra, 2016, pp. 1–6)

#### 2.2.4.2 Caolín

El Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio define al caolín como toda roca masiva que contenga entre sus componentes un porcentaje variable de minerales de la arcilla semejante a la caolinita, cuya fórmula es:



Además de la caolinita este material puede contener haloisita, pequeñas proporciones de minerales como la mica, cuarzo, feldespato, alunita, esmectita y óxidos de Fe y Ti. (Bartolomé, 1997, p. 14)

Entre las características y propiedades más representativas de este material tenemos:

- Su apariencia es de color blanco cuando se encuentra en altos grados de pureza, caso contrario tiende a ser de varios colores por la presencia de impurezas.
- Es inodoro, compacto y suave al tacto.
- Tiene una gran afinidad por el agua.
- Sirve como aislante térmico debido a que resiste altas temperaturas.
- Altamente moldeable.
- Presenta facilidad de dispersión.
- Otorga cuerpo a recubrimientos por su granulometría mejorando el rendimiento.

- Posee una baja viscosidad en elevados porcentajes de sólidos.

(Olvera, 2018, p. 15)

El caolín es un material que debe ser procesado con anterioridad para incrementar sus propiedades pues estas se encuentran en las partículas más finas. El bajo costo, abundancia y propiedades de este material hacen que sea considerado una de las materias primas no metálicas de mayor consumo industrial. Desde la antigüedad el caolín ha sido utilizado en la industria del papel, cerámica, refractarios, fibra de vidrio, pintura, plásticos, adhesivo y caucho, dejando en evidencia la amplitud de aplicaciones en su mayoría en función de añadir carga o cuerpo a los productos finales. (Bartolomé, 1997, p. 14)

#### 2.2.4.3 *Cemento blanco*

Este material es un tipo de cemento portland hidráulico elaborado por un proceso de calcinación de una mezcla de caliza y arcilla hasta obtener clinker, seguido de la pulverización del producto conjuntamente con yeso, está compuesto por silicatos cálcicos hidráulicos cristalinos además de agua, sulfato de calcio, un máximo de 5 % de piedra caliza, entre otros componentes. (Valdivieso, 2012, p. 45)

El cemento blanco posee un color gris claro llegando a una blancura mayor al 85 % debido a la ausencia de óxidos férricos que otorgan el gris oscuro al cemento tradicional. (Arquba, 2019, p. 7)

Entre sus principales propiedades tenemos:

- Gran resistencia al ataque químico.
- Resistencia a altas temperaturas.
- Altamente moldeable.
- Presenta facilidad de dispersión y adherencia a superficies horizontales y verticales.

(Valdivieso, 2012, p. 45)

Es empleado en acabados de superficies como empastes y en la industria de la construcción en general debido a su papel de conglomerante hidráulico, concediendo características de adherencia y cohesión entre las partículas de mortero y sustrato. (Paredes, 2017, p. 36)

#### 2.2.4.4 Resina Acrílica

La resina acrílica es un ligante orgánico polimérico que se describe como un polvo compuesto por polimetacrilato de metilo, peróxido de benzoilo, rellenos minerales, carbonato de calcio o bario, cuarzo y mica. Entre sus características más sobresalientes tenemos:

- Adherencia química.
- Tiempo de fraguado corto.
- Contracción mínima.
- Altamente resistente a productos químicos.

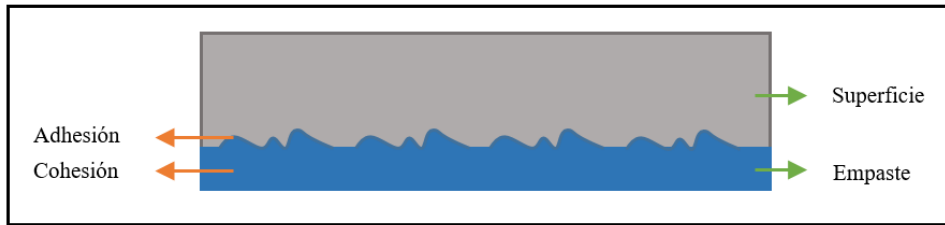
(Barrios, 2014, p. 18)

Tiene una amplitud de aplicaciones en la industria de la madera, metal, cerámica, mimbre, papel y yeso pues es el ligante de los componentes de estos productos. (Valdivieso, 2012, p. 36)

La finalidad de la resina acrílica es otorgar al empaste y la superficie una unión resistente a la separación explicándose este fenómeno mediante el mecanismo de unión en base a la teoría de la adhesión y cohesión.

La adhesión se define como la fuerza de unión del empaste con resina acrílica al sustrato o superficie mediante la adherencia específica (atracción molecular) y la adherencia mecánica (anclaje a cavidades del sustrato).

Por otro lado, la cohesión es la fuerza interna del empaste determinada por la fuerza de unión de las moléculas de sus componentes como se muestra en la Figura 1-3. Estas fuerzas brindan al empaste sus características de estabilidad y resistencia al ser aplicado sobre una superficie exterior o interior. (González de la Cadena, 2016, p. 13)



**Figura 3-2:** Adhesión y cohesión del empaste  
**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

#### 2.2.4.5 Aditivos

Los aditivos se definen como las sustancias que provocan una modificación en una característica, propiedad o comportamiento específico de un hormigón, mortero o pasta, esto puede realizarse antes, durante o después de la formación de la mezcla y el aditivo no debe añadirse en una cantidad mayor al 5 % del peso total de la mezcla. (Paredes, 2017, p. 34)

Las ventajas de la utilización de aditivos son:

- Ofrecen beneficios económicos.
- Facilitan la utilización de una amplitud de componentes.
- Permiten modificar las características físicas de una mezcla

La clasificación de los aditivos por su función en el concreto dada por la normativa ASTM 494-92 se describe de la siguiente manera:

- Reductores de agua: Son fluidificantes que disminuyen la cantidad de agua para obtener una trabajabilidad específica efectuando cambios en la viscosidad de la mezcla.
- Retardantes: Aumentan el tiempo de fraguado del cemento cuando forma parte de un hormigón, mortero o pasta.
- Acelerantes: Disminuyen el tiempo de fraguado del cemento cuando forma parte de un hormigón, mortero o pasta.

- Reductores de agua y retardantes: Se utilizan para disminuir la cantidad de agua que determinará la consistencia del hormigón, mortero o pasta y a la vez aumentar el tiempo de fraguado de la mezcla.
- Reductores de agua y acelerantes: Su finalidad es disminuir la proporción de agua influyendo en la consistencia del hormigón, mortero o pasta y a la vez acelerar el tiempo de fraguado de la mezcla.

(ConcretOnline, 2016, p. 1)

#### 2.2.4.6 Agua

El agua es el disolvente de todos los componentes como son: cal, caolín, cemento blanco, resina acrílica y aditivos, permitiendo la formación de una mezcla homogénea. Ayuda a la viscosidad del empaste resultante y al posterior esparcimiento sobre superficies interiores y exteriores.

#### 2.2.5 Normativa nacional vigente

Para la elaboración de empaste en la empresa Minabradec Cía. Ltda., es necesario basarse en métodos aprobados como los descritos en la normativa NTE INEN, de esta manera se puede apuntar a futuras certificaciones del producto que demuestren su calidad en un mercado cada vez más competitivo.

Para la determinación de la densidad del empaste la normativa NTE INEN-ISO 8130-3:2014, (Recubrimientos en polvo: Determinación de la densidad mediante un picnómetro de desplazamiento de líquido), nos muestra el procedimiento que debemos seguir. En este caso vamos a hacer una variación al método ya que el empaste en si va a contener el líquido facilitándonos de esta manera la medición evitando errores en el desplazamiento del líquido. Este método utiliza para la cuantificación de la densidad, la masa y el volumen de una muestra, procurando que el líquido humedezca el producto en polvo sin hincharlo ni disolverlo. (NTE INEN-ISO 8130-3, 2014, p. 6)

## **2.3 Definición de conceptos**

### **2.3.1 Variables del proyecto**

#### **Textura del empaste**

La textura del empaste debe ser evaluado en su estado recién aplicado y seco con la finalidad de ver si existe la presencia de componentes con granulometría irregular que alteren el aspecto de la superficie.

La textura depende directamente del porcentaje de sólidos utilizado y su granulometría las cuales deben ser alrededor del 70 % de componentes sólidos en la mezcla y menores a 44  $\mu\text{m}$  respectivamente para evitar alteraciones en la superficie. (Pinturas Unidas, 2018, p. 2)

#### **Coloración**

La coloración del empaste seco debe ser revisada pues de este depende la utilización de pinturas de acabado y su tonalidad. La coloración del empaste recomendada es blanco o crema, con un brillo máximo de 1 a 60 °, estas coloraciones facilitarán la aplicación de acabados de pintura que se desee realizar en las superficies interiores y exteriores. (Pinturas Unidas, 2018, p. 2)

#### **Adhesión del empaste a superficies**

La adhesión del empaste a superficies interiores y exteriores es evaluada en función del desprendimiento del recubrimiento al cabo del tiempo de secado recomendado. Esta propiedad depende de la viscosidad del producto final y por ende de las porciones de los componentes utilizados.

#### **Tiempo de secado**

El tiempo de endurecimiento o secado es otra de las características a considerar cuando se compra este tipo de recubrimientos, el tiempo recomendado es de 60 a 90 minutos por cada aplicación, aunque otros autores recomiendan esperar un mínimo de seis días para la total solidificación del material sin alterar la constitución de la superficie y facilitar la aplicación de pintura de acabado. (Disma C. LTDA., 2017, p. 2)

## **pH**

El pH del empaste debe tener un valor de 8,5 a 11 para garantizar la adhesión a las superficies. La medición de pH se puede realizar con un pH-metro calibrado en soluciones buffer pH 4, pH 7 y pH 10. (Disma C. LTDA., 2018, p. 2)

Además, el potencial de hidrogeno de la superficie a empastar debe ser considerado debido a que, si se tiene un pH mayor a 9, es decir muy básico, las propiedades de adhesión pueden ser alteradas, por ello se recomienda el uso de lápices de pH los cuales al dar una raya color verde amarillento mostrarán el límite del potencial requerido, para disminuir el pH se puede mojar la superficie con agua. (Compras Públicas, 2016, p. 5)

## **Viscosidad**

La viscosidad del empaste depende directamente del contenido de sólidos (recomendado 70 %), su granulometría y de su capacidad o tendencia a mezclarse con el agua. Como se explicó anteriormente la cal, caolín y cemento blanco son sustancias higroscópicas, característica que facilita la obtención de la viscosidad del empaste final adecuado al mezclarse con el agua. Si la viscosidad del empaste resultante es demasiado baja la línea recomendada de espesor del recubrimiento (2 mm) no se obtendrá debido a que la capacidad de esparcimiento es exagerada. Por otro lado, si la viscosidad del empaste es muy alta esto dificultara la capacidad de esparcimiento evitando la penetración de la mezcla en las cavidades de la superficie y dando en ambos casos una resistencia de unión débil entre el empaste y el sustrato. (Schweigger, 2005, pp. 155-198)

La viscosidad del empaste es esencial para la calidad de adhesión, pues al encontrarse en su rango óptimo (150000 cP a 170000 cP a 25 °C) proporciona un volumen de esparcimiento adecuado, mejorando la distribución de la resina sobre las cavidades de la superficie. (Pinturas Unidas, 2018, p. 3)

Para determinar la viscosidad del empaste se puede utilizar un viscosímetro de rotación Brookfield o copas de flujo de viscosidad Ford o Zahn.

## **Densidad**

La densidad se considera una de las propiedades fundamentales del empaste, a densidades extremadamente bajas o altas se dan bajas resistencias de la unión debido a que la proporción de



sus componentes no está equilibrada dando resultados negativos en términos de viscosidad, adhesión y tiempo de fraguado. La viscosidad recomendada es de 1,50-1,60 g/ml. (Schweigger, 2005, p. 158)

## **Rendimiento**

El rendimiento del empaste es una de las características más consideradas al momento de comprar un recubrimiento de este tipo, esta variable depende directamente de la viscosidad del empaste y su esparcimiento. El rendimiento teórico del empaste recomendado por los fabricantes varía de 19 m<sup>2</sup> a 22 m<sup>2</sup> por saco en enlucido de arena fina aplicándolo con 2 manos cruzadas, mientras que en enlucido de arena gruesa se tiene de 15 m<sup>2</sup> a 17 m<sup>2</sup> por saco con tres manos cruzadas. (Pinturas Unidas, 2018, p. 2)

### **2.4 Beneficiarios directos e indirectos**

#### **2.4.1 *Beneficiarios directos***

Los principales beneficiarios de este proyecto son la empresa Minabradec Cía. Ltda., y la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

#### **2.4.2 *Beneficiarios indirectos***

Los beneficiarios indirectos son los clientes de la empresa Minabradec Cía. Ltda., que se encuentran en el sector de la construcción del mercado ecuatoriano.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Localización del proyecto

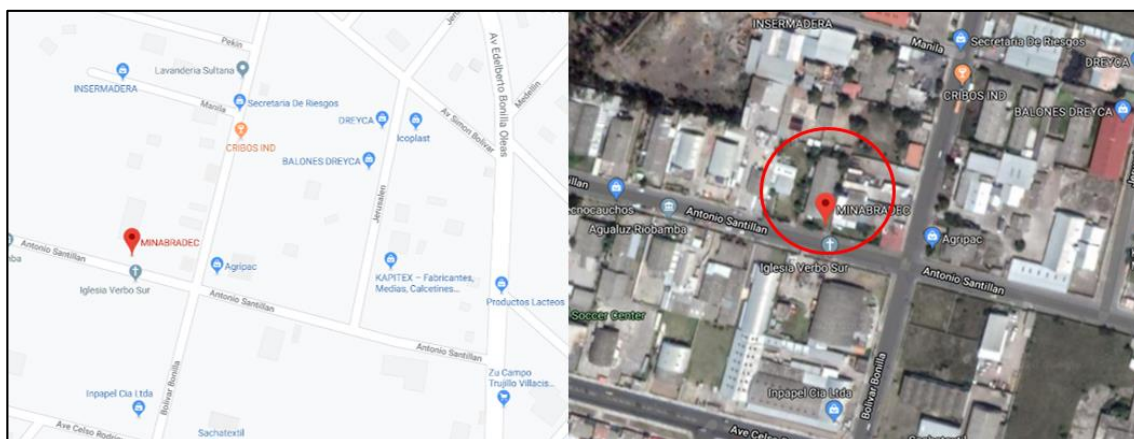
Este proyecto se implementa en:

**Tabla 1-3:** Localización del proyecto.

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>Ubicación</b> | Minabradec Cía. Ltda. Dirección: Antonio Santillán y Bolívar Bonilla, Riobamba, Chimborazo, Ecuador. |
| <b>Latitud</b>   | 1°40'43.3236"  |
| <b>Longitud</b>  | 78°37'58.5048"   |
| <b>Altitud</b>   | 2822 m.s.n.m   |
| <b>Clima</b>     | Templado, Temperatura mínima: 9 °C, Temperatura máxima: 19 °C.                                       |

Fuente: (GeoDatos, 2018, p. 1)

Realizado por: Michelle Roldán, 2020



**Figura 1-3:** Mapa geo-referencial

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

## **3.2 Ingeniería del proyecto**

### **3.2.1 Tipo de trabajo**

El proyecto es considerado de tipo técnico debido a que se realizó la caracterización de la materia prima, el desarrollo de la formulación y condiciones de producto terminado. Aplicando los principios de fenómeno de transporte se puede diseñar la línea de producción para obtener el empaste bicomponente a escala industrial con una calidad y eficiencia considerable para ser implementada por la empresa. Antes de empezar con el proyecto, se realizaron dosificaciones preliminares para observar el comportamiento de la cal, caolín, cemento blanco y resina acrílica, componentes principales para la formación del empaste. Como se contaban con cuatro variables independientes se hicieron varios ensayos para tener un rango porcentual de cuanto se podía poner y empezar a definir la formulación. (Polanco, 2016, p. 15)

Para probar las diferentes formulaciones se contó con un maestro de construcción con más de 10 años de experiencia en lo relacionado a empaste de interiores, el cual realizaba todo el protocolo de mezcla del empaste, aplicación y acabado quedando listo para la siguiente etapa donde se realizaron análisis cualitativos y cuantitativos.

### **3.2.2 Nivel de la investigación para el trabajo técnico**

#### **3.2.2.1 Estudio de intervención**

La investigación es de tipo técnico ya que se estableció una relación causa-efecto entre las variables independiente como la cantidad de cemento blanco, resina, cal y caolín, variables constantes como la cantidad de agua, variables dependientes como el tiempo de secado, color de empaste y calidad del producto.

#### **3.2.2.2 Muestreo**

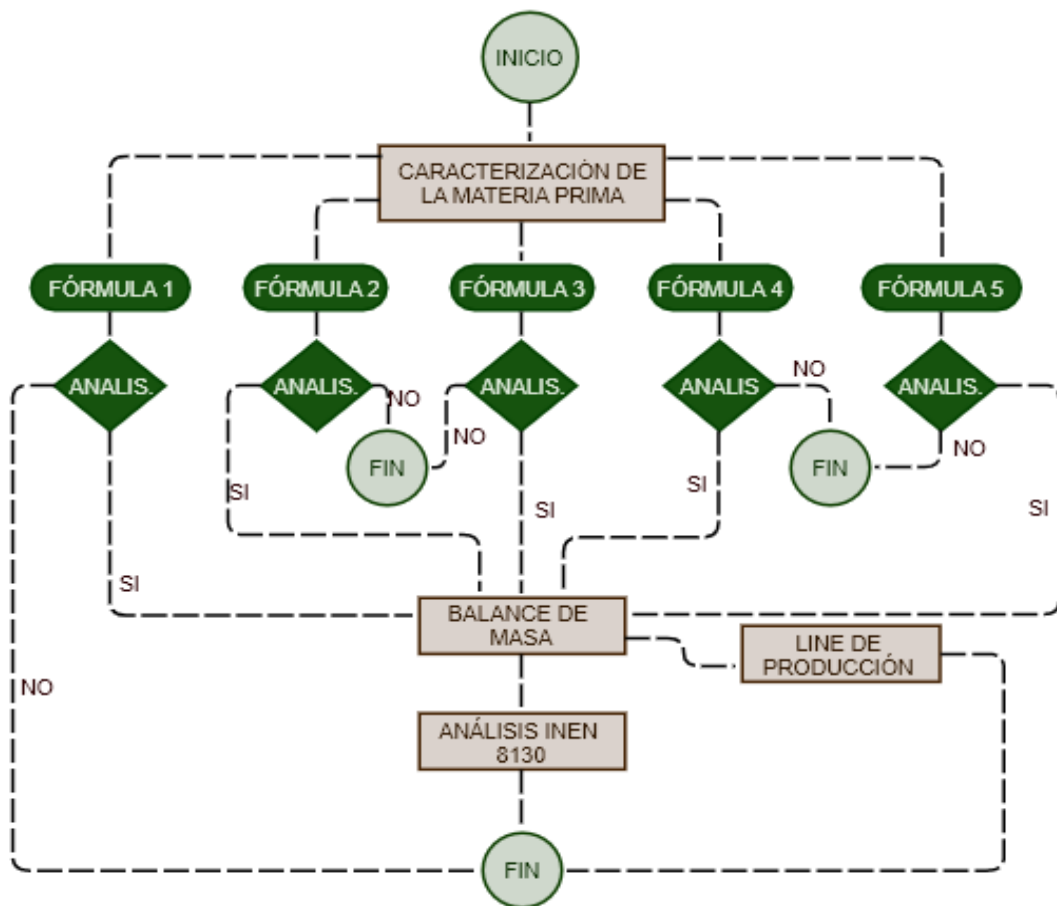
Para la toma de la muestra se consideró el principio de equi-probabilidad, por lo tanto, se optó por el muestreo probabilístico ya que cualquier parte de la población tiene la posibilidad de ser escogido. Este muestreo es de tipo simple ya que se cuenta con una lista numerada de las unidades de la población que se quiere muestrear. En cada tratamiento se le realizó un análisis por triplicado.

### 3.2.2.3 Tamaño de la muestra

La muestra fue analizada en un equipo de espectroscopia de fluorescencia de rayos X en donde se debe tener un peso de muestra que oscile entre los 70 y 80 gramos.

### 3.3 Etapas del proyecto

La obtención de una formulación óptima de empaste se llevó a cabo de la siguiente manera:



**Figura 2-3:** Fases de experimentación para determinar la formulación óptima de empaste.

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

#### 3.3.1 Etapa 1: Caracterización de la materia prima

Los análisis granulométricos y condiciones de la muestra se realizaron en las instalaciones de la empresa Minabradec Cía. Ltda. Para la caracterización de la cal y el caolín se contó con un equipo de espectroscopia de fluorescencia de rayos X dispersivo en longitud de onda marca Bruker

modelo S8 Tiger, del laboratorio de la empresa Cemento Chimborazo S.A., como indica la Fotografía 3-1, mientras que para la caracterización del cemento blanco se utilizó los análisis del fabricante.



**Fotografía 1-3:** Equipo de espectroscopia de fluorescencia de rayos X.

**Fuente:** (Cemento Chimborazo, 2019, p. 3-5)

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

Para el análisis de caracterización se realizó el siguiente procedimiento:

- a. Toma de la muestra y tamizado: Se tomó una muestra de cal producida con una granulometría aproximada de  $44\ \mu\text{m}$  de la torre de tamizado.



**Fotografía 2-3:** Ciclón de Minabradec CIA. LTDA.

**Fuente:** (Minabradec CIA. LTDA., 2019, p. 1)

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

- b. Prensado de la muestra a 15 kPa: Se llevó la muestra de cal a los laboratorios de Cemento Chimborazo donde se colocó de 70 g a 100 g de muestra en el equipo prensador.



**Fotografía 3-3:** Prensa automática del laboratorio de Cemento Chimborazo.

**Fuente:** (Cemento Chimborazo, 2019, p. 3-5)

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

- c. Formación de la pastilla: La pastilla de cal se formó después de aplicar la presión necesaria en una placa metálica.



**Fotografía 4-3:** Placa metálica de prensado.

**Fuente:** (Cemento Chimborazo, 2019, p. 3-5)

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

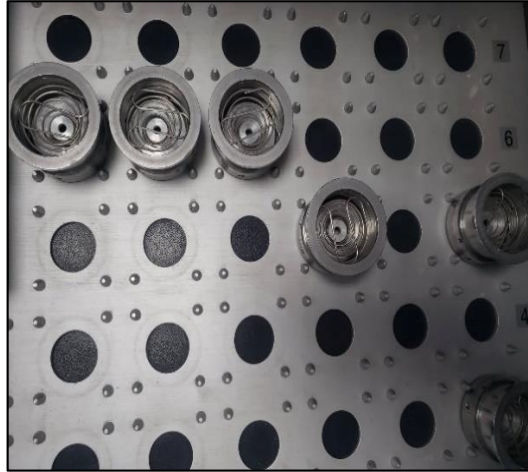


**Fotografía 5-3:** Pastilla de cal.

**Fuente:** (Cemento Chimborazo, 2019, p. 3-5)

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

- d. Colocación de la muestra en la celda del equipo de espectroscopia de fluorescencia de rayos X: Se determinó los principales componentes inorgánicos de cada una de las muestras.



**Fotografía 6-3:** Determinación de la composición de la cal en el equipo de espectroscopia.

**Fuente:** (Cemento Chimborazo, 2019, p. 3-5)

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

- e. Resultados de la caracterización de la cal: Después de 10 minutos el programa del equipo de espectroscopia de fluorescencia de rayos X arrojó los resultados finales del análisis.



**Fotografía 7-3:** Resultados de la caracterización de la cal.

**Fuente:** (Cemento Chimborazo, 2019, p. 3-5)

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

El porcentaje másico obtenido de los compuestos orgánicos fue el siguiente:

**Tabla 2-3:** Compuestos analizados en el equipo de espectroscopia de fluorescencia de rayos X.

| Compuestos         | Simbología                     | Unidades |
|--------------------|--------------------------------|----------|
| Óxido de silicio   | SiO <sub>2</sub>               | %        |
| Óxido de aluminio  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %        |
| Óxido férrico      | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %        |
| Óxido de calcio    | CaO                            | %        |
| Óxido de magnesio  | MgO                            | %        |
| Óxido de sodio     | Na <sub>2</sub> O              | %        |
| Óxido de potasio   | K <sub>2</sub> O               | %        |
| Óxido sulfúrico    | SO <sub>3</sub>                | %        |
| Óxido de titanio   | TiO <sub>2</sub>               | %        |
| Dióxido de carbono | CO <sub>2</sub>                | %        |

Fuente: (Cemento Chimborazo, 2019, p. 3–5)

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

### 3.3.2 Etapa 2: Desarrollo de la fórmula para el empaste

Para realizar la formulación se consideró las recomendaciones dadas por un proveedor. Con ello se realizaron 4 formulaciones adicionales en donde se utilizaron diferentes concentraciones de cal, caolín, cemento blanco como se muestra en la Tabla 3-3.

**Tabla 3-3:** Formulaciones para el empaste de interiores y exteriores.

| Formulaciones | Cal (%) | Caolín (%) | Cemento (%) |
|---------------|---------|------------|-------------|
| Formulación 1 | 15      | 40         | 45          |
| Formulación 2 | 67      | 20         | 13          |
| Formulación 3 | 50      | 20         | 30          |
| Formulación 4 | 60      | 25         | 15          |
| Formulación 5 | 40      | 30         | 30          |

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

Para obtener la granulometría de 44 µm se utilizó un tamizador el cual permitió lograr una mezcla de textura cremosa y sin grumos, como lo estipula en la ficha técnica DISMA FT-IDI-010 y la FT-IDI-009. Esta fórmula fue comparada con un empaste comercial, para ello se tomó como base 1 Kg de muestra a la cual se le añadió 400 ml de agua. (Disma C. LTDA., 2018, p. 2)

El procedimiento aplicado para la preparación de las formulaciones es el siguiente:



- a. Formulación de la muestra: Se preparó cada una de las formulaciones según los porcentajes mostrados en la Tabla 4-2 pesando en una balanza los componentes.



**Fotografía 8-3:** Pesaje de los componentes de cada formulación.

**Fuente:** (Minabradec CIA. LTDA., 2019, p. 1)

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

- b. Preparación del empaste: Se mezclan los componentes con agua creando una mezcla homogénea lista para ser aplicada.



**Fotografía 9-3:** Empaste formulado.

**Fuente:** (Minabradec CIA. LTDA., 2019, p. 1)

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

- c. Aplicación de la primera capa: Se esparce una primera capa de empaste con una llana metálica sobre una superficie.



**Fotografía 10-3:** Aplicación de la primera capa de empaste formulado.

**Fuente:** (Minabradec CIA. LTDA., 2019, p. 1)

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

- d. Aplicación de la segunda capa: Se esparce una segunda capa de empaste con una llana metálica sobre una superficie esperando que la primera se haya secado.



**Fotografía 11-3:** Aplicación de la segunda capa de empaste formulado.

**Fuente:** (Minabradec CIA. LTDA., 2019, p. 1)

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

### *3.3.2.1 Identificación de variables*

Para elegir la formulación óptima se realizó un análisis sensorial y técnico. El análisis sensorial se llevó a cabo desde la preparación de la mezcla, aplicación del empaste y empaste seco terminado utilizando una escala de puntuación que oscila desde 0 - 5.

Mientras que para la recolección de datos técnicos se tomaron las variables físico-químicas indicadas en la Tabla 3-3. Para el análisis de pH se utilizó un pH-metro, la viscosidad se midió en un viscosímetro marca Brookfield DV-III Ultra y para medir la coloración se utilizó un equipo X-Rite eXact™ "Basic Plus"

Las variables dependiente sensoriales y físico-químicas a analizar se muestran en la Tabla 3-4, así como las variables independientes que vamos a controlar durante la experimentación.

**Tabla 4-3:** Variables del ensayo de formulación de empaste.

| <b>Tipos de variables</b> | <b>Variable</b>              | <b>Indicador</b>          |
|---------------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Dependientes</b>       | Textura del empaste          | Adimensional              |
|                           | Adhesión del empaste         | Adimensional              |
|                           | Tiempo de secado del empaste | S                         |
|                           | pH del empaste               | Adimensional              |
|                           | Viscosidad del empaste       | cP                        |
|                           | Coloración del empaste       | $\Delta E$                |
|                           | Densidad del empaste         | g/ml                      |
|                           | Rendimiento del empaste      | m <sup>2</sup> por costal |
| <b>Independientes</b>     | Cantidad de agua             | %                         |
|                           | Cantidad de cal              | %                         |
|                           | Cantidad de caolín           | %                         |
|                           | Cantidad de cemento blanco   | %                         |
|                           | Cantidad de resina acrílica  | %                         |
|                           | Tiempo de mezclado           | Min                       |

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

### 3.3.2.2 Ensayos de la parte experimental

Para la valoración de las variables sensoriales se utiliza la Tabla 3-5 descrita a continuación:

**Tabla 5-3:** Tabla de valoración para las variables sensoriales.

| <b>Valores</b> | <b>Significado</b> |
|----------------|--------------------|
| 0-1            | Mala               |
| 1-2            | Pobre              |
| 2-3            | Regular            |
| 3-4            | Bueno              |
| 4-5            | Excelente          |

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

### *Textura del empaste al aplicar*

Para la valoración de la textura del empaste al aplicar se dio a cada formulación cinco puntos, si esta no facilita su aplicación en la superficie se la penaliza con 1 punto, si el empaste presenta grumos se restan 2 puntos y si el empaste al ser aplicado en la superficie forma pequeños canales de agua se reducen 2 puntos, estos factores fueron señalados por el maestro de construcción el cual manifestó que son los principales problemas que se presenta al trabajar con empastes tanto para interiores como exteriores.

### *Textura del empaste al secar*

En esta variable se asignó cinco puntos a cada formulación, si la pared al estar seca presenta pequeñas grietas se penaliza con 2 puntos, si el empaste se desprende se restan 2 puntos y si al aplicar la primera o segunda mano de empaste se desprende una pequeña cantidad se reduce 1 punto.

### *Adhesión del empaste*

Para realizar el análisis de adhesión del empaste se dio 5 puntos a cada formulación, se colocó cinco tiras de cinta transparente de 30 cm en la pared donde se encontraba el empaste seco, se retiraron las cintas y posteriormente se las pega sobre una cartulina negra observando si hay desprendimiento, en cada cinta que presente empaste se penaliza con un punto.

### *Entizado*

Se realizó mediante la asignación de 5 puntos a cada formulación, en donde se pasó la mano sobre la superficie empastada y seca, se visualizó si la palma de la mano contenía polvo blanco es decir si presentaba entizamiento, si la cantidad que se evidencia es en pequeña cantidad se reduce un 1 punto, si se desprende en abundancia se reducirá de punto en punto analizando que tan manchada se manifiesta la palma de la mano.

### *Tiempo de secado del empaste*

Se cuantificó el tiempo de fraguado o secado del empaste en la primera y segunda capa de empaste aplicado. Con la llana metálica se colocó una capa con un espesor aproximado de 1 mm, a partir

de ese momento se procedió a tomar el tiempo hasta el secado de la capa, para confirmar que el empaste este seco se utiliza una cinta adhesiva transparente.

Una vez seca la primera capa se procede a aplicar la segunda capa de un milímetro, de igual forma se toma el tiempo de secado y se asegura que este seco utilizando una cinta.

#### *pH del empaste*

Se colocó una cantidad de empaste en un vaso de 250 ml llenando las  $\frac{3}{4}$  del recipiente, posteriormente se introdujo el electrodo (pH-metro calibrado en una solución buffer) en el empaste, es necesario que para este análisis el empaste sea preparado en ese instante.

#### *Viscosidad del empaste*

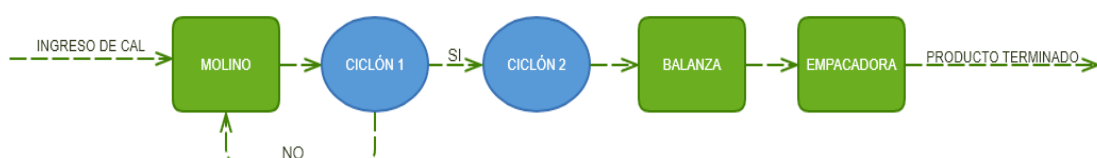
Se preparó el empaste y fue colocado en un vaso de 250 ml llenando las  $\frac{3}{4}$  de su capacidad, llevando a un baño maría hasta alcanzar una temperatura de 26 °C, posteriormente se realizó la medición con el viscosímetro Brookfield.

#### *Coloración del empaste*

Se realizaron probetas de empaste formulado y comercial que tengan aproximadamente 6 cm de ancho, 10 cm de largo y 3 mm de espesor, las mismas que son colocadas en una estufa a 50 °C por 15 minutos, al retirarlas se deja las probetas ambientar, la probeta comercial se utiliza como blanco en la cuantificación de color de cada formulación. La variación de la coloración debe estar en un rango de 0-1.5, mientras más cerca este del cero el color se asemeja al blanco.

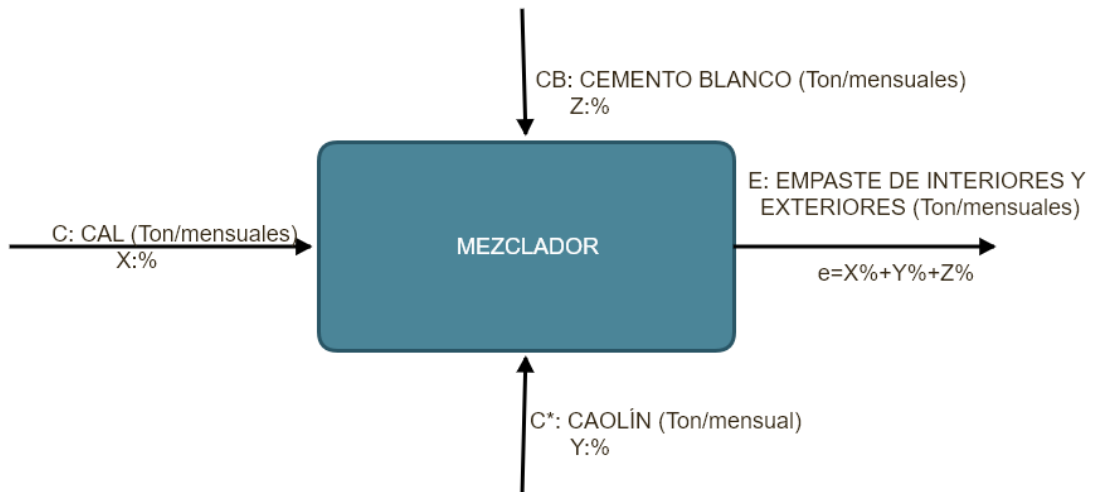
### **3.3.3 Etapa 3: Elaboración del diseño del proceso para la obtención de empaste**

La empresa Minabradec Cía. Ltda., genera 90 Ton/mes de cal la misma que se desea convertir en empaste, la línea de producción de cal se indica en la siguiente Figura 3-3.



**Figura 3-3:** Línea de producción de cal de la empresa Minabradec Cía. Ltda.  
**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

El proceso de producción de cal es una parte del proceso de obtención de empaste, para ello se modificará la línea de producción que tiene actualmente la empresa realizando un balance de masa como indica la Figura 3-4.



**Figura 4-3:** Balance de masa del equipo mezclador para la preparación de empaste.  
**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

Para saber cuánto caolín y cemento blanco se necesita para mezclar con las 90 Ton /men de cal y saber cuánto empaste de producirá, se definen las siguientes ecuaciones:

$$ENTRADA = SALIDA$$

$$C + C^* + CB = E$$

**Ecuación 1-3:** Caudal de empaste de interiores y exteriores

Donde:

$C$ : Caudal de cal (Ton/mes)

$X\%$ : Porcentaje de cal en el empaste (%)

$C^*$ : Caudal de caolín (Ton/mes)

$Y\%$ : Porcentaje de caolín en el empaste (%)

$CB$ : Caudal de cemento blanco (Ton/mes)

Z%: Porcentaje de cemento blanco (%)

E: Caudal de empaste de interiores y exteriores (Ton/mes)

Cálculo de los caudales:

Caolín:

$$C^* = C * \frac{Y\%}{X\%}$$

**Ecuación 2-3:** Caudal de empaste de interiores y exteriores

Cemento blanco:

$$CB = C * \frac{Z\%}{X\%}$$

**Ecuación 3-3:** Caudal de empaste de interiores y exteriores

Empaste:

$$E = C + C^* + CB$$

**Ecuación 4-3:** Caudal de empaste de interiores y exteriores

### **3.3.4 Etapa 4: Caracterización del producto elaborado comparando con un empaste comercial mediante la norma INEN 8130 para recubrimientos en polvo.**

Se realizó la caracterización de la formulación óptima de empaste en comparación con el comercial mediante el cálculo del rendimiento y la densidad descrita en la norma INEN 8130-3:2014.

#### **3.3.4.1 Densidad del empaste**

El picnómetro de 10 ml es tarado en una balanza analítica, se prepara el empaste a 25 °C colocándolo en el picnómetro hasta llenarlo, posteriormente se pesa el empaste en el picnómetro. Para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

**Ecuación 5-3:** Caudal de empaste de interiores y exteriores

Donde:

$\rho$ : Densidad del empaste (g/ml)

$m$ : Masa del empaste (g)

$v$ : Volumen del empaste (ml)

(NTE INEN-ISO 8130-3, 2014, p. 6)

### 3.3.4.2 Rendimiento del empaste

Se trazó un cuadro de 1 m<sup>2</sup> en la pared y se aplicó dos capas de empaste óptimo y comercial en la superficie completando un espesor de aproximadamente 2 mm, para el cálculo del rendimiento se utiliza la siguiente formula:

$$\varepsilon_F = \frac{m_f}{1 \text{ m}^2}$$

**Ecuación 6-3:** Caudal de empaste de interiores y exteriores

$$\varepsilon_{EC} = \frac{m_{EC}}{1 \text{ m}^2}$$

**Ecuación 7-3:** Caudal de empaste de interiores y exteriores

Donde:

$\varepsilon_F$ : Rendimiento del empaste formulado (kg/m<sup>2</sup>)

$m_f$ : Masa de la formulación óptima (kg)

$\varepsilon_{EC}$ : Rendimiento del empaste comercial (kg/m<sup>2</sup>)

$m_{EC}$ : Masa del empaste comercial (kg)



## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1 Caracterización de la materia prima

Se realizó el análisis de caracterización de la materia prima en el equipo de espectroscopia de fluorescencia de rayos X del laboratorio de la empresa Cemento Chimborazo S.A. En el Anexo A se indican los resultados de la caracterización de caolín, mientras que en el Anexo B se indican los valores de la cal.

Estos valores se relacionan con los obtenidos en la investigación realizada por (Paredes, 2017, p. 36) y (González de la Cadena, 2016, p. 49), determinando que la materia prima cumple con los parámetros para realizar la formulación del empaste de aplicación interior y exterior.

La caracterización del cemento blanco fue realizada en base a los valores dados por el fabricante como se muestra en el Anexo C.

Con estos valores se puede comparar los principales componentes en porcentajes máscicos, como se indica en la Tabla 4-1.

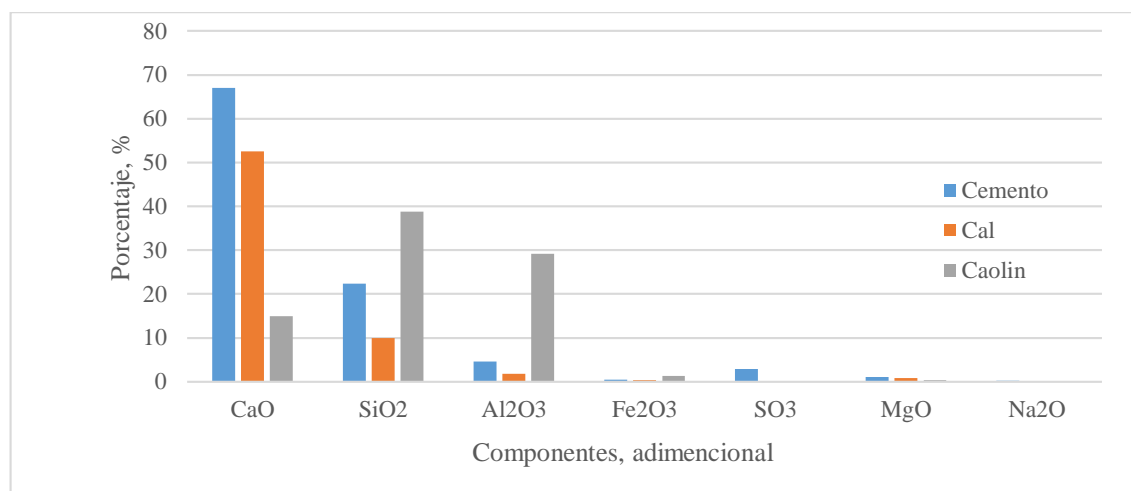
**Tabla 1-4:** Resultados de la caracterización del cemento blanco, cal y caolín.

| Componentes                    | Unidad | Cemento | Cal   | Caolín |
|--------------------------------|--------|---------|-------|--------|
| CaO                            | %      | 67,00   | 52,50 | 14,97  |
| SiO <sub>2</sub>               | %      | 22,40   | 9,94  | 38,77  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %      | 4,60    | 1,82  | 29,19  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %      | 0,42    | 0,38  | 1,27   |
| SO <sub>3</sub>                | %      | 2,86    | 0,11  | 0,09   |
| MgO                            | %      | 1,10    | 0,81  | 0,36   |
| Na <sub>2</sub> O              | %      | 0,18    | 0,06  | 0,13   |

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

Observando los componentes más representativos en el Gráfico 4-1, se confirma que el cemento blanco contiene la mayor cantidad de CaO con un porcentaje máscico de 67 %, mientras que la cal presenta un 52,50 % de óxido de calcio cantidad que sobrepasa el rango mínimo indicado por

(Valdivieso, 2012, p. 49). La muestra que contiene la mayor cantidad de óxido de silicio es el caolín con un valor de 38,77 %, resultado representativo debido a que el caolín es rico en este compuesto inorgánico como indica (González de la Cadena, 2016, p. 46), de igual manera la muestra que contiene la mayor cantidad de óxido de aluminio es el caolín.



**Gráfico 1-4:** Relación de los principales componentes del caolín, cal y cemento blanco.

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

## 4.2 Desarrollo de la formulación para el empaste

Las formulaciones que se utilizaron en este proyecto se indican en la Tabla 3-3, donde se detalla el porcentaje másico de cal, caolín y cemento blanco, siendo la formulación 3 la brindada por el proveedor.

### 4.2.1 Resultados de los análisis sensoriales del empaste de interiores y exteriores.

Para la aplicación de cada formulación se estableció una base de cálculo de 1000 g y se comparó cada formulación con el empaste comercial como se muestra en la Tabla 4-2.

**Tabla 2-4:** Formulaciones para el empaste de interiores y exteriores.

| Formulaciones     | Base de C. (g) | Resina (g) | Agua (ml) |
|-------------------|----------------|------------|-----------|
| Formulación 1     | 1000           | 100        | 400       |
| Formulación 2     | 1000           | 100        | 400       |
| Formulación 3     | 1000           | 100        | 400       |
| Formulación 4     | 1000           | 100        | 400       |
| Formulación 5     | 1000           | 100        | 400       |
| Empaste comercial | 1000           | 100        | 400       |

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

Con la Tabla 4-3 se pudo valorar cada tratamiento (T1, T2 y T3), dando así un valor numérico a cada variable sensorial como se muestra en la Tabla 4-3.

**Tabla 3-4:** Datos obtenidos para cada variable sensorial.

| Formulaciones     | T.E. aplicado |    |    | T. E seco |    |    | A. d. E. |    |    | Entizado |    |    |
|-------------------|---------------|----|----|-----------|----|----|----------|----|----|----------|----|----|
|                   | T1            | T2 | T3 | T1        | T2 | T3 | T1       | T2 | T3 | T1       | T2 | T3 |
| Formulación 1     | 3             | 4  | 5  | 4         | 4  | 5  | 5        | 5  | 4  | 4        | 4  | 5  |
| Formulación 2     | 4             | 5  | 4  | 3         | 4  | 4  | 4        | 4  | 4  | 3        | 4  | 4  |
| Formulación 3     | 5             | 4  | 4  | 4         | 3  | 5  | 4        | 5  | 3  | 4        | 4  | 4  |
| Formulación 4     | 5             | 5  | 4  | 5         | 5  | 4  | 5        | 5  | 5  | 5        | 4  | 5  |
| Formulación 5     | 3             | 4  | 4  | 3         | 3  | 4  | 4        | 5  | 5  | 3        | 4  | 3  |
| Empaste comercial | 5             | 5  | 5  | 5         | 5  | 5  | 5        | 5  | 5  | 5        | 5  | 4  |

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

Donde:

T1: Tratamiento 1 (adimensional)

T2: Tratamiento 2 (adimensional)

T3: Tratamiento 3 (adimensional)

T.E. aplicado: Textura del empaste al aplicarlo (adimensional)

T. E seco: Textura del empaste seco (adimensional)

A. d. E.: Adhesión del empaste (adimensional)

Realizando un análisis estadístico se promediaron los datos, como se indica en la tabla 4-4.

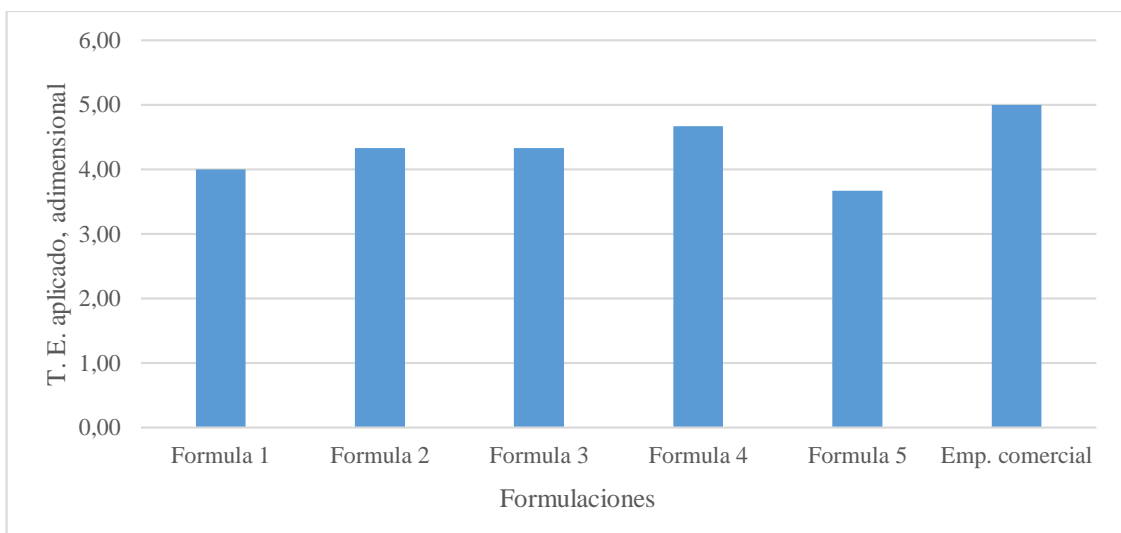
**Tabla 4-4:** Resultados de las variables sensoriales de las diferentes formulaciones de empaste.

| Formulación       | T.E. aplicado | T. E seco | A. d. E. | Entizado |
|-------------------|---------------|-----------|----------|----------|
| Formulación 1     | 4,00          | 4,33      | 4,67     | 4,33     |
| Formulación 2     | 4,33          | 3,67      | 4,00     | 3,67     |
| Formulación 3     | 4,33          | 4,00      | 4,00     | 4,00     |
| Formulación 4     | 4,67          | 4,67      | 5,00     | 4,67     |
| Formulación 5     | 3,67          | 3,33      | 4,67     | 3,33     |
| Empaste comercial | 5,00          | 5,00      | 5,00     | 5,00     |

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

#### 4.2.1.1 Textura del empaste al aplicarlo (T.E. aplicado).

En la Gráfico 4-2 se muestran los valores experimentales de la variable sensorial textura del empaste al ser aplicado comparándola con el empaste comercial. La formulación cuatro tuvo una puntuación de 4,67 mientras que las formulaciones dos y tres alcanzaron una puntuación de 4,33 entrando todas ellas al rango de excelente, la formulación uno llego a una puntuación de 4,00 categorizándola como muy buena y la que menor puntuación alcanzó fue la formulación cinco con una puntuación de 3,67 entrando al rango de regular.

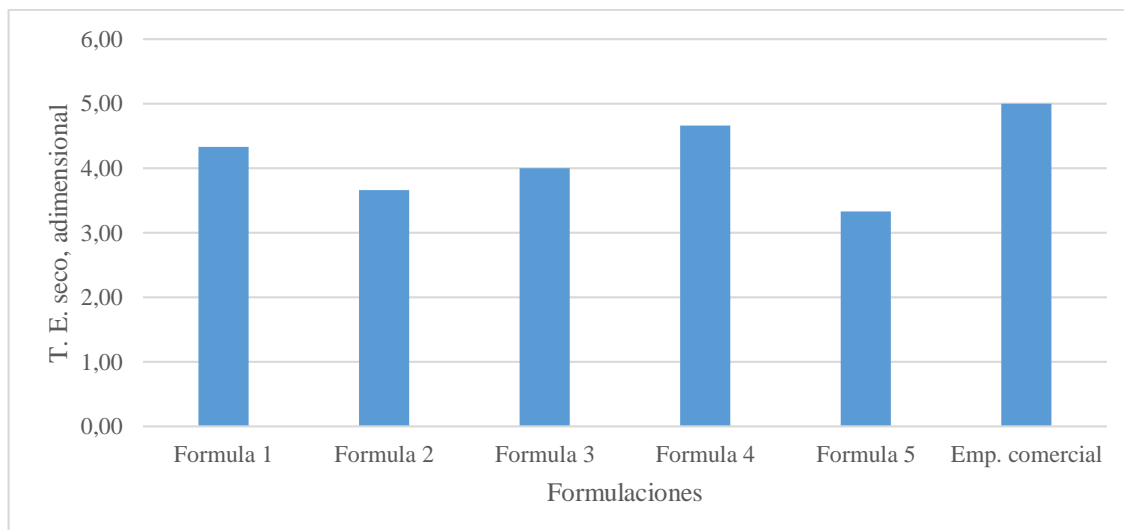


**Gráfico 2-4:** Textura de las cinco formulaciones en comparación con el empaste comercial.

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

#### 4.2.1.2 Textura del empaste seco (T. E seco).

En el Gráfico 4-3, se indica los valores obtenidos de las cinco formulaciones en comparación con el empaste comercial, la formulación que tuvo mejor puntuación fue la formulación cuatro con 4,67 seguido de la formulación uno con una puntuación de 4,33 alcanzando ambas la categoría de excelente, la formulación tres con una valoración de 4 puntos llegó a la categoría de muy bueno conjuntamente con la formulación dos de 3,67 y la formulación que alcanzo el menor puntaje fue la formulación cinco con un puntaje de 3,33 entrado al rango de muy bueno.

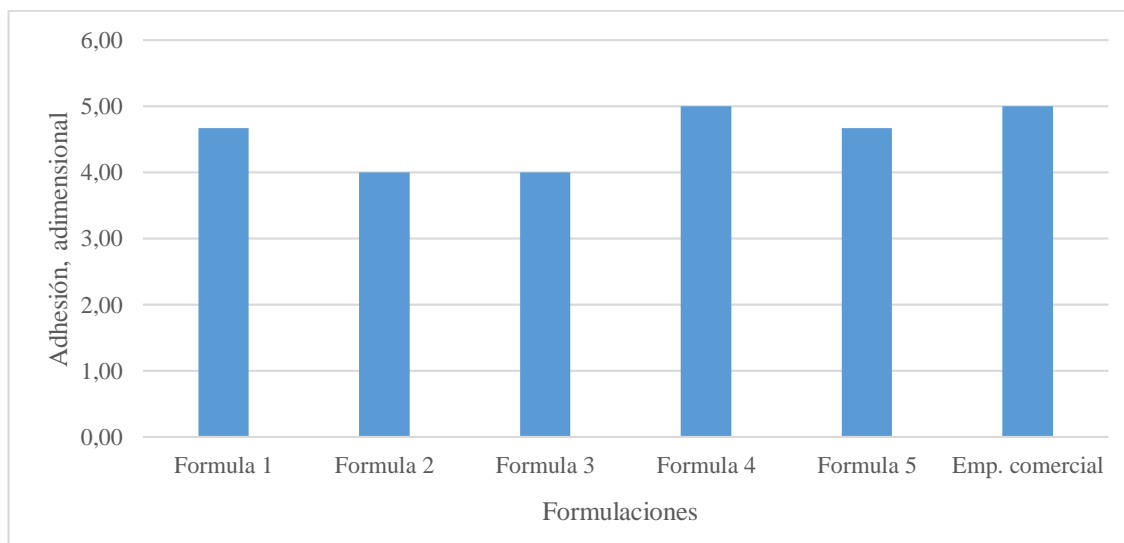


**Gráfico 3-4:** Textura de las cinco formulaciones en comparación con el empaste comercial.

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

#### 4.2.1.3 Adhesión del empaste (A. d. E.)

En el Gráfico 4-4 se muestran los resultados obtenidos en la comparación de las cinco formulaciones con el empaste comercial en términos de adhesión, la formulación que tuvo el mejor puntaje fue la cuatro con una puntuación de 5, las formulaciones uno y cinco obtuvieron un valor de 4,67 puntos todas llegando a la categoría de excelente, por otro lado, la formulación dos y tres alcanzaron una puntuación de 4 entrando al rango de muy bueno.



**Gráfico 4-4:** Adhesión de empaste en las cinco formulaciones en función del empaste comercial.

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

#### 4.2.2 Resultados de las variables físico-químicas del empaste de interiores y exteriores.

Los resultados en lo referido a variables físico-químicas son indicados en la Tabla 4-5, en donde se muestran los valores de los tres tratamientos realizados a cada variable.

**Tabla 5-4:** Datos obtenidos de las variables físico-químicas.

| Formulaciones  | pH   |      |      | $\mu \times 10^{+5}$ (cP) |      |      | $t_1$ (min) |       |       | $t_2$ (min) |       |       | $(\Delta E)$ |      |      |
|----------------|------|------|------|---------------------------|------|------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|--------------|------|------|
|                | T1   | T2   | T3   | T1                        | T2   | T3   | T1          | T2    | T3    | T1          | T2    | T3    | T1           | T2   | T3   |
| Formulación 1  | 8,23 | 7,46 | 8,16 | 1,64                      | 1,86 | 1,92 | 10,00       | 13,00 | 12,00 | 33,00       | 35,00 | 35,00 | 2,72         | 2,64 | 1,88 |
| Formulación 2  | 8,62 | 8,37 | 8,25 | 1,34                      | 1,55 | 1,46 | 10,00       | 10,00 | 12,00 | 29,00       | 32,00 | 31,00 | 1,43         | 0,69 | 1,03 |
| Formulación 3  | 8,31 | 8,68 | 8,28 | 1,68                      | 1,43 | 1,52 | 14,00       | 14,00 | 16,00 | 36,00       | 37,00 | 37,00 | 1,23         | 0,98 | 1,13 |
| Formulación 4  | 8,63 | 8,59 | 8,96 | 1,54                      | 1,62 | 1,49 | 9,00        | 8,00  | 11,00 | 28,00       | 29,00 | 28,00 | 0,67         | 0,82 | 0,34 |
| Formulación 5  | 8,4  | 9,21 | 8,55 | 1,67                      | 1,46 | 1,52 | 9,00        | 12,00 | 10,00 | 29,00       | 30,00 | 28,00 | 1,92         | 2,66 | 2,13 |
| Emp. comercial | 8,79 | 8,76 | 8,72 | 1,55                      | 1,58 | 1,56 | 8,00        | 7,00  | 10,00 | 25,00       | 28,00 | 26,00 | 0,27         | 0,46 | 0,12 |

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

Donde:

pH: Potencial de hidrogeniones (adimensional).

$\mu$ : Viscosidad dinámica (cP)

$t_1$ : Tiempo de secado en la primera capa (min)

$t_2$ : Tiempo transcurrido en secar la segunda capa (min)

$\Delta E$ : Variación del color entre el empaste seco comercial y el empaste formulado

Se realizó un promedio de los datos obteniendo la Tabla 4-6.

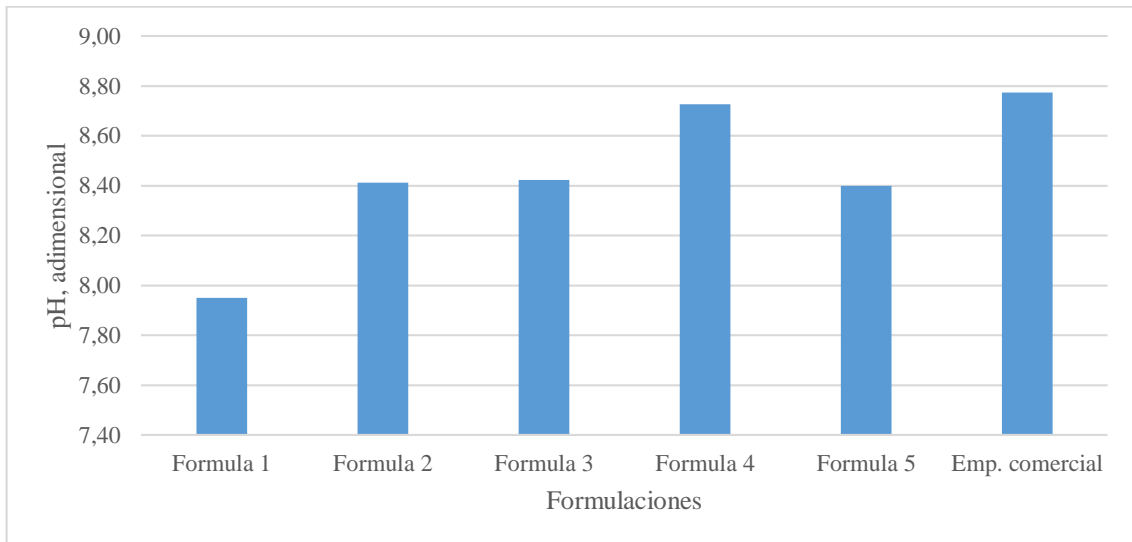
**Tabla 6-4:** Resultados de las variables físico - químicas de las formulaciones de empaste.

| Formulaciones  | pH   | $\mu \times 10^{+5}$ (cP) | $t_1$ (min) | $t_2$ (min) | $(\Delta E)$ |
|----------------|------|---------------------------|-------------|-------------|--------------|
| Formulación 1  | 7,95 | 1,81                      | 11,67       | 34,33       | 2,30         |
| Formulación 2  | 8,41 | 1,45                      | 10,67       | 30,67       | 0,69         |
| Formulación 3  | 8,42 | 1,54                      | 14,67       | 36,67       | 1,11         |
| Formulación 4  | 8,73 | 1,52                      | 9,33        | 28,33       | 0,61         |
| Formulación 5  | 8,40 | 1,55                      | 10,33       | 29,00       | 2,29         |
| Emp. comercial | 8,78 | 1,57                      | 8,33        | 26,33       | 0,28         |

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

#### 4.2.2.1 Potencial de hidrogeniones (pH)

Se comprobó que el pH del empaste comercial es de 8,78, este valor indica que la mezcla tiene un medio básico. La formulación cuatro es la que más se acercó al dato obtenido por el empaste comercial con un valor de 8,73, seguido por la formulación dos con un pH de 8,41, mientras que la formulación cinco alcanzó un resultado de 8,40, finalmente la muestra que mostró el valor más bajo fue la formulación uno con 7,59, como se ilustra el Gráfico 4-5.



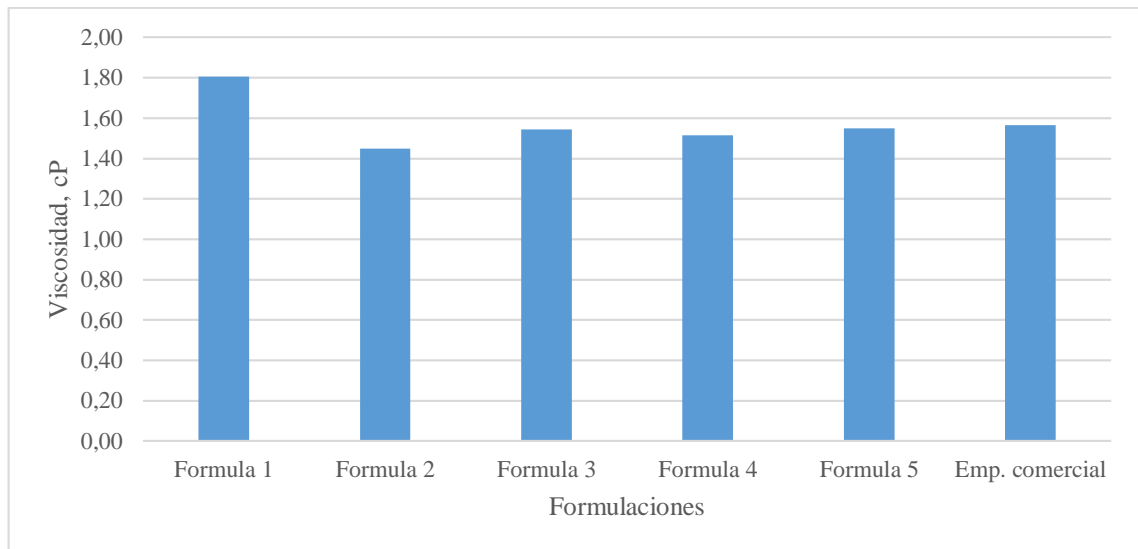
**Gráfico 5-4:** pH de las cinco formulaciones en comparación con el empaste comercial.

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

Según la ficha técnica para empastes de interiores y exteriores de la empresa Pinturas Unidas un empaste debe tener un pH que oscile entre 8-9, confirmando que la formulación uno no cumple con el valor mínimo requerido, se presume que su valor de 7,59 se obtuvo debido a que el porcentaje de cal fue muy bajo en comparación con las otras formulaciones.

#### 4.2.2.2 Viscosidad dinámica ( $\mu$ )

El empaste comercial obtuvo un valor de  $1,57 \times 10^5$  cP, seguido por la formulación cinco con una viscosidad dinámica de  $1,55 \times 10^5$  cP, la formulación tres alcanzó un valor de  $1,54 \times 10^5$  cP, mientras que la formulación cuatro tuvo un valor de  $1,52 \times 10^5$  cP, finalmente el valor más bajo fue la formulación dos con  $1,45 \times 10^5$  cP como se muestra en el Gráfico 4-6.



**Gráfico 6-4:** Viscosidad de las cinco formulaciones en comparación con el empaste comercial.

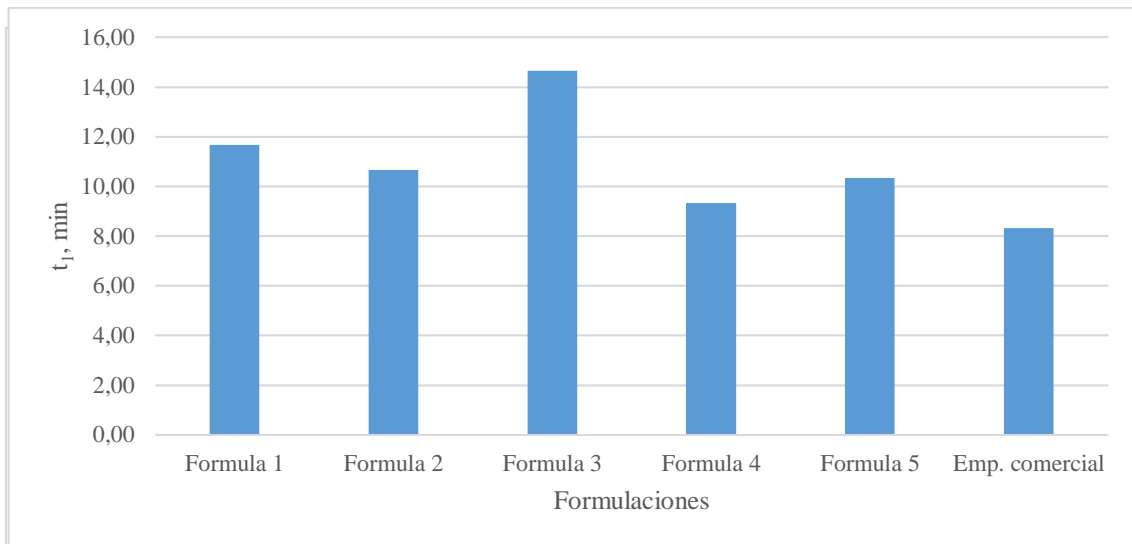
**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

#### 4.2.2.3 Tiempo de secado en la primera capa ( $t_1$ )

Se tomó el tiempo del secado de la capa uno del empaste comercial, el cual se secó más rápido que las demás formulaciones en un tiempo de 8,33 min, seguido por la formulación cuatro con 9,33 min, la formulación cinco con un valor de 10,33 min, la formulación dos en 10,67 min y la formulación que demora más en secar fue la 3 con 14,33 min, como se muestra en el Gráfico 4-7.

Es importante considerar que estos valores pueden tener un rango de error debido a que no se controló la temperatura ambiente y humedad las cuales tienen un impacto directo en cada formulación.



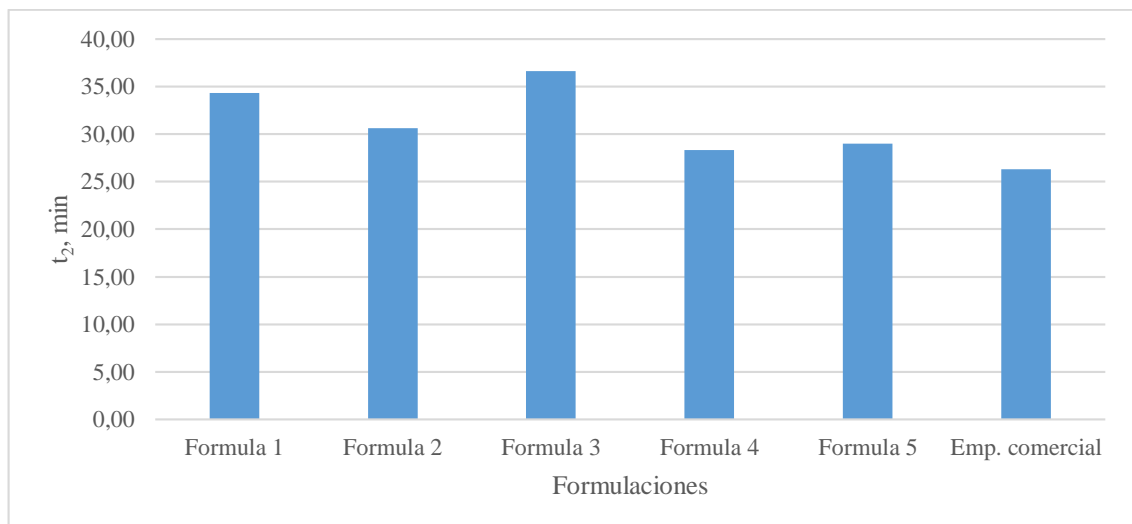


**Gráfico 7-4:** Tiempo de secado de la capa uno en las cinco formulaciones en comparación con el empaste comercial.

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

#### 4.2.2.4 Tiempo de secado en la segunda capa (t<sub>2</sub>)

En los resultados ilustrados en el Gráfico 4-8 se puede constatar que el empaste comercial tuvo un tiempo de secado en la capa dos de 26,33 min, seguido por la formulación cuatro con 28,33 min, la formulación cinco con 29 min, la formulación dos con 30,67 min y la formula tres con 30,67 min de secado.



**Gráfico 8-4:** Tiempo de secado de la capa dos en las cinco formulaciones en comparación con el empaste comercial.

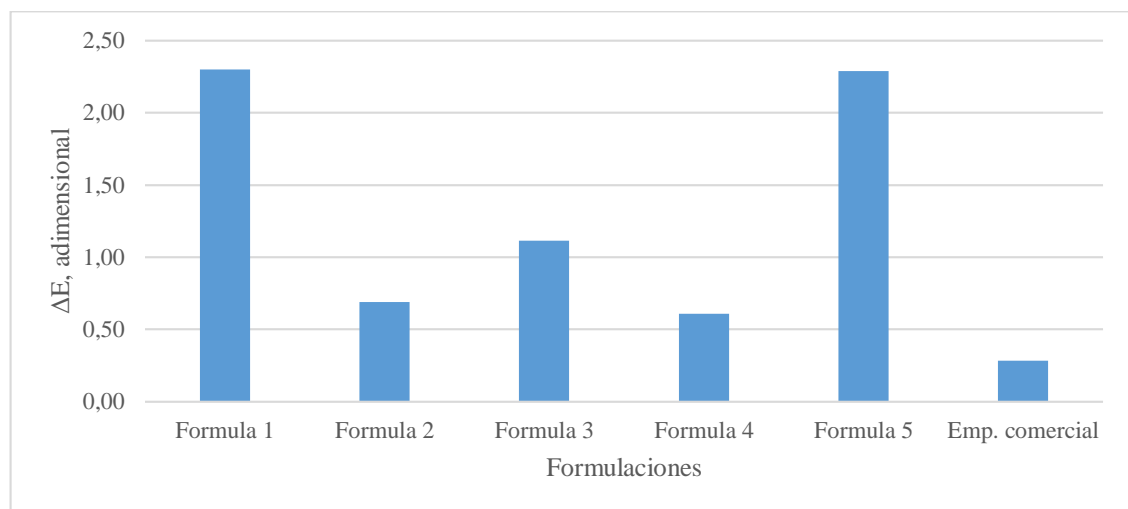
**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

La empresa Pinturas Unidas en su ficha técnica de empaste de interiores señala que la segunda capa de un empaste se debe secar en un tiempo de 25 a 30 min, con este dato se determina que las formulaciones cuatro y cinco cumplen con este parámetro.

#### 4.2.2.5 Colorimetría del empaste ( $\Delta E$ )

Al utilizar el empaste comercial como blanco se confirmó que la formulación cuatro tuvo una variación de color  $\Delta E=0,61$ , seguido por la formulación dos con un  $\Delta E=0,69$ , la muestra tres con una  $\Delta E=1,11$ , y la formulación uno con una  $\Delta E=2,30$  como se muestra en el Gráfico 4-9.

El rango aceptable de variación de colorimetría es de 0 - 1,5 por lo tanto las formulaciones que reflejan el color blanco es la dos, tres y cuatro.



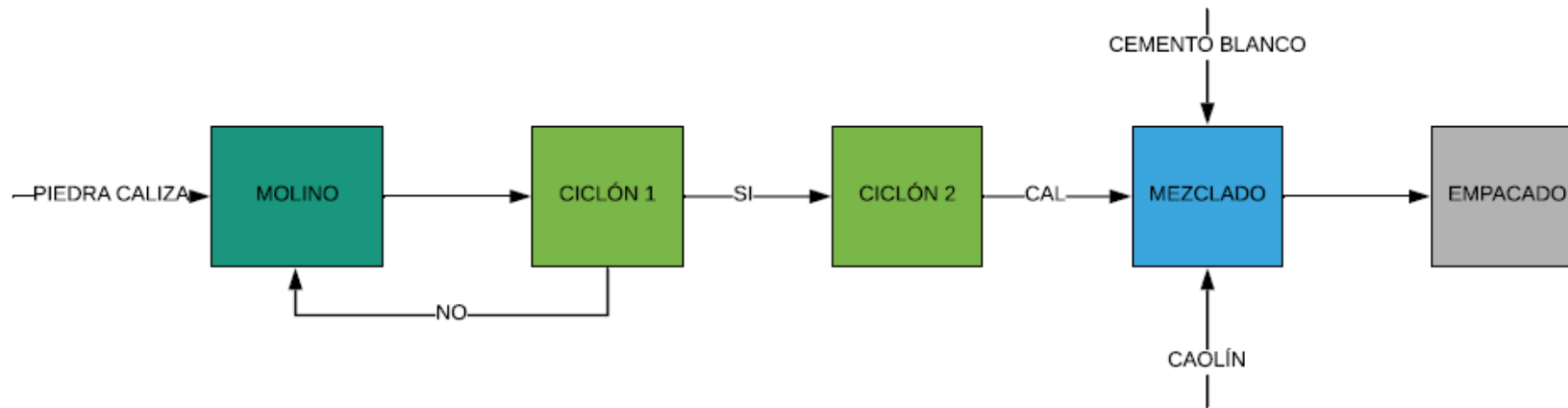
**Gráfico 9-4:** Colorimetría de las cinco formulaciones en comparación con el empaste comercial

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

### 4.3 Diseño del proceso para la obtención de empaste

Con los resultados obtenidos en la etapa dos se puede confirmar que la formulación cuatro es la formulación óptima, es decir, la mejor en términos sensoriales y físico-químicos en comparación con las demás formulaciones y el empaste comercial.

Para el diseño de la línea de producción de empaste de aplicación interior y exterior se tomó en consideración los equipos con los que cuenta actualmente la empresa y sus instalaciones. Se determinó que se debe implementar un mezclador para llevar a cabo el proceso, como se muestra en la figura 4-2.



**Figura 1-4:** Línea de producción de empaste para Minabradec CIA LTDA.

Como se observa en la Figura 4-2, la piedra caliza ingresa al molino donde se la tritura hasta alcanzar una granulometría de  $44\ \mu\text{m}$ , las partículas de piedra caliza continúan con el proceso de separación y tamizado en el ciclón 1, en caso de que no se encuentren con la luz de malla requerida regresan al molino por realimentación, las partículas pasan por un segundo ciclón para asegurar la granulometría requerida, al terminar estas operaciones se obtiene la cal la cual a su vez se envía al tanque mezclador conjuntamente con caolín y cemento blanco durante 20 minutos, al terminar se envía el empaste a la etapa de empacado y almacenado para su respectiva distribución.

#### 4.3.1 Molino

El actual molino pulverizador es de origen nacional, tiene una eficiencia de 80 % y cuenta con la capacidad de procesar 3 ton/día. La materia prima utilizada se extrae de las canteras de la comunidad de Shobol ya antes mencionada, la cual contiene una humedad relativa que oscila entre los 0.5%. La piedra caliza ingresa por la parte superior del molino el cual tiene un eje vertical, sus dos motores generan un movimiento rotatorio produciendo una fuerza centrífuga en el interior, la cual ocasiona que la piedra se impacte contra las paredes triturándose el material en diferentes medidas, como se muestra en la Fotografía 4-1.



**Fotografía 1-4:** Molino de pulverización

**Fuente:** (Minabradec CIA. LTDA., 2019, p. 1)

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

#### 4.3.2 Ciclón

La empresa cuenta con dos ciclones de fabricación nacional cuyo objetivo es separar la piedra pulverizada según número de mesh (número de luz de malla), cada ciclón está constituido de dos turbinas que se acoplan al eje en un recipiente cónico, la primera turbina impulsa las partículas gruesas hacia el fondo del recipiente y la segunda turbina expulsa el material fino hacia las paredes, enviándolo por otro ducto que lo lleva hacia un silo de polvo conocido como filler. Ambas turbinas tienen un sistema de variación de velocidad, permitiendo que en ciertos tiempos se pueda variar el movimiento en el interior para que el producto sea más puro.

El primer ciclón recibe el material saliente del molino, separando las partículas que tienen un mesh de 325 (partículas que tienen un diámetro  $\leq 37 \mu\text{m}$ ), las partículas que no cumplen son extraídas del fondo y enviadas nuevamente al molino, en la Fotografía 4-2 se muestra la forma que tiene el ciclón 1.



**Fotografía 2-4:** Ciclón 1

**Fuente:** (Minabradec CIA. LTDA., 2019, p. 1)

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

El material que cumple con la granulometría, se envía al ciclón 2, el mismo que separa las partículas a 400 mesh (partículas que tienen un diámetro  $\leq 44 \mu\text{m}$ ), el material que no cumple se coloca en el fondo del ciclón como se muestra en la Fotografía 4-3.



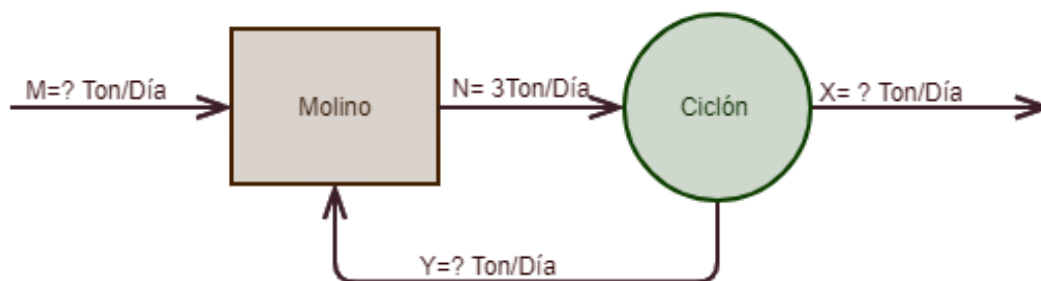
**Fotografía 3-4:** Ciclón 2

Fuente: (Minabradec CIA. LTDA., 2019, p. 1)

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

#### 4.3.3 Balance de masa del molino y el ciclón

Para el balance de masa no se consideró el residuo que se obtiene en el ciclón 2 debido a que su cantidad es despreciable, en la Figura 4-3 se ilustra un diagrama de flujo en donde se encuentran las corrientes de entrada, salida y reflujó que interactúan entre estos dos equipos. De igual manera se desprecia el material residual que sale de ambos equipos al ambiente ya que en un día de trabajo se recoge entre 2-3 kg.



**Figura 2-4:** Diagrama de flujo del balance de masa entre molino y ciclón.

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

Considerando que el 80 % del material que sale cumple con una granulometría  $\leq 37 \mu\text{m}$ , se tiene el siguiente balance únicamente para el ciclón:

$$N = X + Y$$

Calculando las corrientes se obtiene:

$$X = N \times \frac{80 \%}{100 \%}$$

$$X = 3 \text{ Ton/Día} \times \frac{80 \%}{100 \%}$$

$$X = 2,4 \text{ Ton/Día}$$

La cantidad de materia que se recircula es:

$$Y = N - X$$

$$Y = 3 - 2,4$$

$$Y = 0,6 \text{ Ton/Día}$$

Mientras que realizando el balance en el molino se tiene:

$$M + Y = N$$

Despejando el caudal de entrada al molino:

$$M = N - Y$$

$$M = 3 - 0,6$$

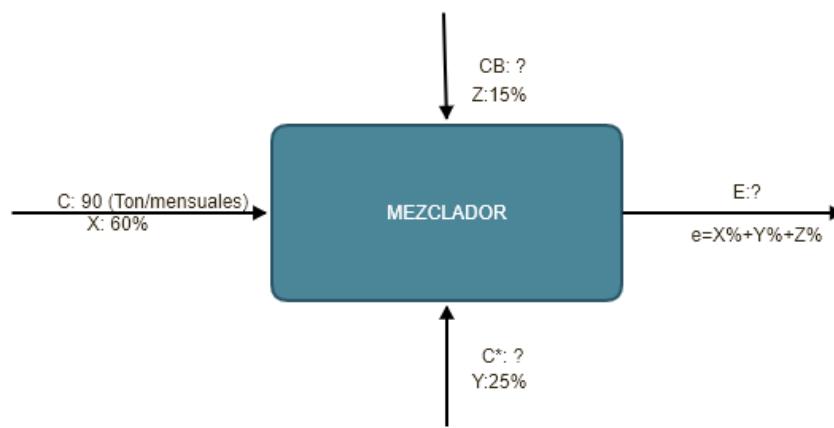
$$M = 2,4 \text{ Ton/Día}$$

Con el balance de masa sabemos que 2,4 Ton/día ingresan al molino conjuntamente con la recirculación de 0,6 Ton/día, obteniendo un caudal intermedio de 3 Ton/día que ingresa al primer ciclón dando 2,4 Ton/día de cal con la granulometría requerida.

#### 4.3.4 Mezclador

El equipo que se propone por recomendación del proveedor es un mezclador de tanque horizontal con un sistema de agitación de doble cinta que tenga una relación dimensional de 2:1 entre el ancho y el alto, debe tener un tiempo del mezclado de 15-20 min.

La composición de la formulación cuatro es 60 % de cal, 25 % de caolín y 15 % de cemento blanco, reemplazando estos datos en el diagrama de balance de masa, como muestra el Gráfico 4-10, se calcula la cantidad de cemento y caolín que debe abastecerse mensualmente a la empresa.



**Figura 3-4:** Balance de masa del equipo mezclador para la preparación de empaste.

**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020

Sabiendo que actualmente la empresa cuenta con una capacidad instalada para producir 90 Ton/mes de cal y aplicando los principios de balance de masa tenemos:

$$ENTRADA = SALIDA$$

$$C + C^* + CB = E$$

Caolín:

$$C^* = C * \frac{Y\%}{X\%}$$

$$C^* = 90 \text{ Ton/mes} * \frac{25\%}{60\%}$$

$$C^* = 37,5 \text{ Ton/mes}$$



Cemento blanco:

$$CB = C * \frac{Z\%}{X\%}$$

$$CB = 90 \text{ Ton/mes} * \frac{15\%}{60\%}$$

$$CB = 22,5 \text{ Ton/mes}$$

Empaste:

$$E = C + C^* + CB$$

$$E = 90 + 37,5 + 22,5$$

$$E = 150 \text{ Ton/mes}$$

El caudal en kg/min que se produciría de empaste se calcula de la siguiente manera:

$$150 \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{24 \text{ dias}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \cong 4.35 \text{ kg/min}$$

Para los cálculos de capacidad se tomó en consideración 20 min de mezclado aplicando la siguiente ecuación:

$$C_m = f \times E \times t$$

Donde:

$C_m$ : Capacidad del mezclador (kg)

$t$ : Tiempo de mezclado (min)

$f$ : Rango de seguridad (15 %)

$$C_m = 1.15 \times 4.35 \text{ kg/min} \times 20 \text{ min}$$

$$C_m = 100 \text{ kg}$$

La capacidad que debe tener el mezclador es de 100 kg para poder generar 150 Ton/mes. Para un mezclador con una capacidad entre 80 y 100 kg según la revisión en catálogos de elaboración y venta de mezcladores horizontales para solidos la potencia del motor debe ser de 3kw.

#### 4.3.5 *Empacado*

En el fondo del mezclador se encontrará un sistema de purga, donde se colocarán los sacos y el sistema de empacado que cuenta actualmente la empresa, formado por una balanza y una máquina cosedora de saco.

#### 4.4 Caracterización del producto elaborado comparando con el empaste comercial mediante la norma INEN 8130 para recubrimientos en polvo.

##### 4.4.1 *Densidad del empaste*

Al realizar los cálculos de densidad se obtuvieron los siguientes datos experimentales indicados en la Tabla 7-4.

**Tabla 7-4:** Datos obtenidos de densidad del empaste óptimo.

| N° de Análisis | Volumen (ml) | Masa (g) | Densidad (g/ml) |
|----------------|--------------|----------|-----------------|
| 1              | 10           | 15,4     | 1,54            |
| 2              | 10           | 15,6     | 1,56            |
| 3              | 10           | 15,5     | 1,55            |
| 4              | 10           | 15,4     | 1,54            |
| 5              | 10           | 15,5     | 1,55            |
| Promedio       | 10           | 15,4     | 1,54            |

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

Conociendo que el empaste de la formulación cuatro tiene una densidad de 1,54 g/ml y que el empaste comercial según, su ficha técnica, tiene un rango de 1,50-1,60 g/ml se determina que la formulación óptima cumple con la densidad recomendada.

##### 4.4.2 *Rendimiento del empaste*

Para este análisis se trazaron las dimensiones de ancho y alto de pared completando 1 m<sup>2</sup> con un flexómetro. Los datos obtenidos experimentalmente se muestran en la Tabla 8-4.

**Tabla 8-4:** Datos obtenidos de la pared cubierta con los empastes óptimo y comercial.

| N° de Análisis | $m_f$ (kg) | $m_{EC}$ (kg) |
|----------------|------------|---------------|
| 1              | 0,98       | 1,03          |
| 2              | 0,96       | 1,02          |
| 3              | 0,96       | 0,99          |
| Promedio       | 0,97       | 1,01          |

**Realizado por:** Michelle Roldán 2020

Aplicando la ecuación de rendimiento se tiene:

$$\varepsilon_F = \frac{m_f}{1 \text{ m}^2} = \frac{0,97 \text{ kg}}{1 \text{ m}^2} = 0,97 \text{ kg/m}^2$$

$$\varepsilon_{EC} = \frac{m_{EC}}{1 \text{ m}^2} = \frac{1,01}{1 \text{ m}^2} = 1,01 \text{ kg/m}^2$$

La ficha técnica del empaste comercial señala que el empaste tiene un rendimiento aproximado de 1 kg/m<sup>2</sup>, aplicando la formulación óptima se obtuvo un rendimiento de 0,97 kg/m<sup>2</sup> y el comercial tuvo 1,01 kg/m<sup>2</sup>, con estos datos se determina que el empaste formulado cubre una superficie casi igual a la comercial.

## CONCLUSIONES

- ✓ El diseño del proceso de la elaboración de empastes de aplicación interior y exterior para la empresa Minabradec CIA. LTDA., es totalmente factible en términos de calidad del producto.
- ✓ La formulación óptima de empaste para aplicación de interiores y exteriores está compuesta por 60% de cal, 25 % de caolín y 15 % de cemento.
- ✓ Las variables sensoriales y físico – químicas analizadas de la formulación óptima se aproximan a los valores obtenidos del análisis del empaste comercial.
- ✓ El diseño del proceso de producción de empaste incluye molienda, tamizaje, mezclado de los componentes de la formulación óptima.
- ✓ La caracterización de la formulación óptima en términos de densidad según la normativa INEN 8130 mostró un valor de 1,54 g/ml el cual se encuentra en el rango aceptable de 1,50-1,60 g/ml establecido en la ficha técnica del empaste comercial.
- ✓ El rendimiento del empaste de la formulación óptima es de 0,97 kg/m<sup>2</sup> mientras que el empaste comercial obtuvo 1,01 kg/m<sup>2</sup> determinado que el producto puede competir en el mercado de recubrimientos en polvo.

## RECOMENDACIONES

- Planificar detalladamente la experimentación para disminuir el tiempo de ejecución.
- Implementar un laboratorio de calidad en la empresa Minabradec CIA. LTDA., para obtener certificaciones de sus productos, realizar proyectos de investigación e innovación y aumentar su nivel de competitividad en el mercado.
- Realizar un análisis de la factibilidad económica del proyecto para determinar costos de producción y beneficios financieros que tendría la empresa.
- Controlar que la granulometría de la cal, caolín y cemento blanco se encuentre en un diámetro de 44  $\mu\text{m}$ .
- Utilizar resinas propias para interiores o exteriores dependiendo su uso, debido a que en las ferreterías se comercializa resinas de construcción sin especificación alguna y no brinda los mismos resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

**BARRIOS, Á.** *Fabricación y Producción de Cal* [en línea]. Guatemala: Slideshare, 2014 [Consulta: 16 diciembre 2019]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/angelbarrios26/produccion-de-cal>.

**BARTOLOMÉ, J.** *El Caolín: Composición, Estructura, Génesis y Aplicaciones. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* [en línea]. España: Boletines, 1997. vol. 1, p. 14. Disponible en: <http://boletines.secv.es/upload/111222333.199736007.pdf>.

*Boletín Macroeconómico Enero 2019* [en línea]. Quito-Ecuador: Asobanca, 2019. [Consulta: 5 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.asobanca.org.ec/publicaciones/boletín-macroeconómico/boletín-macroeconómico-enero-2019>.

**CALIDRA, G.** *El Uso de la Cal en las Muestras de Albalñería* [en línea]. México: Anfacal, 2016. pp. 1-8. [Consulta: 18 diciembre 2019]. Disponible en: [http://anfocal.org/media/Biblioteca\\_Digital/Construccion/Mezclas\\_Repellados\\_y\\_Stuccos/EL\\_USO\\_DE\\_LA\\_CAL\\_EN\\_LAS\\_MEZCLAS.pdf](http://anfocal.org/media/Biblioteca_Digital/Construccion/Mezclas_Repellados_y_Stuccos/EL_USO_DE_LA_CAL_EN_LAS_MEZCLAS.pdf).

**CEMENTO CHIMBORAZO.** *Información Complementaria* [en línea]. Ecuador, 2019. [Consulta: 16 diciembre 2019]. Disponible en: <http://www.cementochimborazo.com/>.

**COMPRAS PÚBLICAS.** *Ficha Técnica: Empaste Exterior* [en línea]. Quito-Ecuador: Compras Públicas, 2016. [Consulta: 16 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/bajarArchivo.cpe?Archivo=Kg4dM9wIXjVpVdeZ-CiHIC47jsKWDaRaKRwnZUzft40,>.

*Los Aditivos para Hormigón, Morteros y Pasta* [en línea]. España: Concretonline, 2016. [Consulta: 14 diciembre 2019]. Disponible en: [http://www.concretonline.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=870:aditivos-definicion-y-clasificacion&catid=46:articulos&Itemid=36%0A](http://www.concretonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=870:aditivos-definicion-y-clasificacion&catid=46:articulos&Itemid=36%0A).

**DISENSA.** *Maxiempaste Exterior Intaco* [en línea]. Ecuador: Disensa, 2019. [Consulta: 9 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.disensa.com.ec/maxiempaste-exterior-20kg-intaco/p>.

**DISMA C. LTDA.** *Ficha Técnica: Disma Empaste Interior* [en línea]. Quito-Ecuador: Disma, 2017. [Consulta: 14 diciembre 2019]. Disponible en: <http://www.disma.com.ec/wp-content/uploads/2018/03/FT-IDI-010-DISMA-EMPASTE-INTERIOR.docx.pdf>.

**DISMA C. LTDA.** *Ficha Técnica: Disma Resina Empaste Interior* [en línea]. Quito-Ecuador: Disma, 2018. [Consulta: 14 diciembre 2019]. Disponible en: <http://www.disma.com.ec/wp-content/uploads/2018/03/FT-IDI-012-DISMA-RESINA-EMPASTE-INTERIOR.docx.pdf>.

**GEODATOS.** *Coordenadas geográficas de Riobamba, Chimborazo, Ecuador* [en línea]. Riobamba-Ecuador: Geodatos, 2018. [Consulta: 9 diciembre 2019]. Disponible en: [www.geodatos.net/coordenadas/ecuador/chimborazo/riobamba](http://www.geodatos.net/coordenadas/ecuador/chimborazo/riobamba).

**GONZÁLEZ DE LA CADENA, J.** *Estudio del Mortero de Pega Usado en el Cartón Cuenca, Propuesta de Mejora Utilizando Mejoras de Cal* [en línea] (Tesis). Universidad de Cuenca, Ecuador. 2016. p. 13. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23664>.

**CÁMARA DE INDUSTRIAS DE GUAYAQUIL.** *Panorama Económico 2018* [en línea]. Ecuador: Marketingactivo, 2019. [Consulta: 3 diciembre 2019]. Disponible en: <https://marketingactivo.com/un-panorama-de-la-economia-del-ecuador-presentado-por-la-camara-de-industrias-de-guayaquil/2018/08/01/>.

**MINABRADEC CIA. LTDA.** *Información Complementaria de Minabradec CIA. LTDA.* [en línea]. Ecuador: Minabradec, 2019. [Consulta: 5 diciembre 2019]. Disponible en: <http://minabradec.com.ec/quienes-somos>.

**MOROCHO, J.** *Diseño de un Plan de Mantenimiento en la Línea de Producción de Empastes en Polvo para Sika Ecuatoriana S.A.* [en línea] (Tesis). Universidad de Guayaquil, Ecuador, 2016. p. 38. [Consulta: 13 diciembre 2019]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/19705/1/TESIS MOROCHO.pdf>.

**NTE INEN-ISO 8130-3:2014.** *Recubrimientos en Polvo. Parte 3: Determinación de la Densidad mediante un Picnómetro de Desplazamiento de Líquido*

**OLVERA, P.** *El Caolín y sus Aplicaciones Industriales* [en línea]. México: 2018. [Consulta: 13 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e1.html>.

**PAREDES, S.** *Desarrollo de un Empaste para Interiores y Exteriores para la Empresa Hormicroto CIA. LTDA.* [en línea] (Tesis). Universidad de Cuenca, Ecuador. 2017. pp. 16-36. [Consulta: 15 diciembre 2019]. Disponible en:  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27388>.

**PINTURAS UNIDAS.** *Empaste Supremo Línea Arquitectónica 2018 Mampostería* [en línea]. Quito Ecuador: 2018. [Consulta: 14 diciembre 2019] Disponible en:  
<https://www.pinturasunidas.com/uploads/productos/arquitectonico/fichas/EMPASTE SUPREMO INTERIORES.pdf>.

**POLANCO, J.** *Cementos, morteros y hormigones* [en línea]. España: 2016. p. 15. [Consulta: 16 diciembre 2019]. Disponible en: [https://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/cementos-morteros-y-hormigones/materiales/3\\_Morteros\\_hormigones1.pdf](https://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/cementos-morteros-y-hormigones/materiales/3_Morteros_hormigones1.pdf).

*Recubrimientos Arquitectura y Construcción* [en línea]. Argentina: Arubq, 2019. [Consulta: 19 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.arquba.com/monografias-dearquitectura/recubrimientos/>.

*Revestimientos en Arquitectura: La Base del Diseño y la Construcción.* Revista científica Los Tiempos [en línea]. Bolivia: Los Tiempos, 2018. [Consulta: 9 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.lostiempos.com/tendencias/casa/20180225/revestimientos-arquitectura-base-del-diseno-construccion>.

**RODRÍGUEZ, Ó.** *Morteros Guía General* [en línea]. Madrid-España: 2003. pp. 31-32. [Consulta: 16 diciembre 2019]. Disponible en:  
<https://books.google.com.ec/books?id=DTCfThIlgAHYC&pg=PA2&lpg=PA2&dq=Asociación+de+Fabricantes+de+mortero+Oscar+Rodriguez&source=bl&ots=VTD4bVC1wt&sig=G9DKeg1GYCXekE-YXnE5Q7yXCaE&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiW2Pbs8r3TAhWI4CYKHRveBFkQ6AEIMTAE#v=onepage&qf=false>.

**SCHWEIGGER, E.** *Manual de Pinturas y Recubrimientos Plásticos* [en línea]. Fernández España: 2005. pp. 135-198. Ediciones Díaz de Santos. [Consulta: 14 diciembre 2019]. Disponible en:  
[https://books.google.com.ec/books?id=17n1yqXyQQsC&pg=PP8&lpg=PP8&dq=Schweigger,+E.+\(2005\).+Manual+de+Pinturas+y+Recubrimientos+Plásticos.+Fernández-&source=bl&ots=](https://books.google.com.ec/books?id=17n1yqXyQQsC&pg=PP8&lpg=PP8&dq=Schweigger,+E.+(2005).+Manual+de+Pinturas+y+Recubrimientos+Plásticos.+Fernández-&source=bl&ots=)



X7zDW2A2it&sig=ACfU3U15BEB\_boI1omscXUEQhknzVjx2A&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj7qNXXRstfnAhVyhAKHfTfD6cQ6AEwAXoECAsQAQ#v=onepage&q=Schweigge%2C E. (2005). Manual de Pinturas y Recubrimientos Plásticos. Fernández-&f=false.

*Usos y Aplicaciones de la Cal* [en línea]. España: Ancade, 2016. [Consulta: 5 diciembre 2019]. Disponible en: <http://anfagal.org/pages/usos-y-aplicaciones-de-la-cal.php>.

**VALDIVIESO, J.** *Diseño del Proceso de Elaboración de Empaste para Interiores y Exteriores con el Uso de Polvo de Cal y Resina* [en línea] (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2012. pp. 22-53. [Consulta: 13 diciembre 2019]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2034>.

**VIDAOS, M.** *Industria de la Construcción Latinoamericana* [en línea]. Perú: 2018. [Consulta: 17 diciembre 2019]. Disponible en: <https://prezi.com/p/br5c0iuwbd3x/industria-de-la-construccion-en-latinoamerica/>.

## ANEXOS

### ANEXO A: DATOS OBTENIDOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE CAOLÍN.

| Caolín                         | Unidad | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Promedio |
|--------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|----------|
| SiO <sub>2</sub>               | %      | 38,60     | 38,91     | 38,81     | 38,77    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %      | 28,92     | 29,42     | 29,23     | 29,19    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %      | 1,28      | 1,26      | 1,27      | 1,27     |
| CaO                            | %      | 15,04     | 14,89     | 14,97     | 14,97    |
| MgO                            | %      | 0,36      | 0,36      | 0,37      | 0,36     |
| Na <sub>2</sub> O              | %      | 0,13      | 0,12      | 0,13      | 0,13     |
| K <sub>2</sub> O               | %      | 0,17      | 0,16      | 0,16      | 0,16     |
| SO <sub>3</sub>                | %      | 0,09      | 0,07      | 0,10      | 0,09     |
| TiO <sub>2</sub>               | %      | 1,25      | 1,26      | 1,26      | 1,26     |
| CO <sub>2</sub>                | %      | 14,17     | 13,54     | 13,70     | 13,80    |

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

### ANEXO B: DATOS OBTENIDOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE CAL.

| Cal                            | Unidad | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Promedio |
|--------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|----------|
| SiO <sub>2</sub>               | %      | 9,91      | 9,98      | 9,93      | 9,94     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %      | 1,78      | 1,85      | 1,82      | 1,82     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %      | 0,36      | 0,39      | 0,38      | 0,38     |
| CaO                            | %      | 52,45     | 52,54     | 52,50     | 52,50    |
| MgO                            | %      | 0,80      | 0,83      | 0,81      | 0,81     |
| Na <sub>2</sub> O              | %      | 0,06      | 0,06      | 0,06      | 0,06     |
| K <sub>2</sub> O               | %      | 0,06      | 0,06      | 0,06      | 0,06     |
| SO <sub>3</sub>                | %      | 0,10      | 0,12      | 0,10      | 0,11     |
| TiO <sub>2</sub>               | %      | 0,06      | 0,06      | 0,06      | 0,06     |
| CO <sub>2</sub>                | %      | 34,42     | 34,58     | 34,55     | 34,52    |

Realizado por: Michelle Roldán, 2020

**ANEXO C: DATOS OBTENIDOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO BLANCO**

| <b>Cemento</b>          | <b>Unidades</b>                | <b>Promedio</b> |       |
|-------------------------|--------------------------------|-----------------|-------|
| Componentes principales | CaO                            | %               | 67,00 |
|                         | SiO <sub>2</sub>               | %               | 22,40 |
|                         | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %               | 4,60  |
|                         | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %               | 0,42  |
|                         | SO <sub>3</sub>                | %               | 2,86  |
|                         | MgO                            | %               | 1,10  |
|                         | Na <sub>2</sub> O              | %               | 0,18  |
| Componentes secundarios | C <sub>3</sub> S               | %               | 59,00 |
|                         | C <sub>2</sub> S               | %               | 19,50 |
|                         | C <sub>3</sub> A               | %               | 11,80 |
|                         | C <sub>4</sub> AF (felita)     | %               | 1,30  |

Realizado por: Michelle Roldán, 2020



Quito – Ecuador

NORMA  
TÉCNICA  
ECUATORIANA

**NTE INEN-ISO 8130-3**

Primera edición  
2014-01

**RECUBRIMIENTOS EN POLVO. PARTE 3: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MEDIANTE UN PICNÓMETRO DE DESPLAZAMIENTO DE LÍQUIDO (ISO 8130-3:1992, IDT)**

COATING POWDERS. PART 3: DETERMINATION OF DENSITY BY LIQUID DISPLACEMENT PYKNOMETER (ISO 8130-3:1992, IDT)

---

Correspondencia:

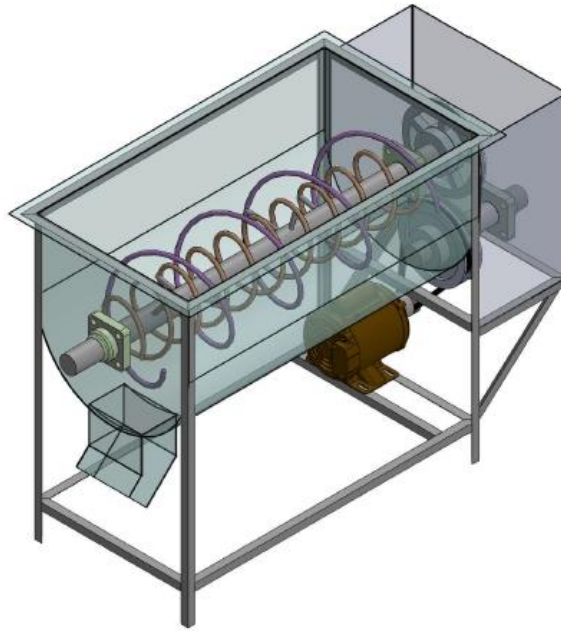
Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma Internacional ISO 8130-3:1992.

---

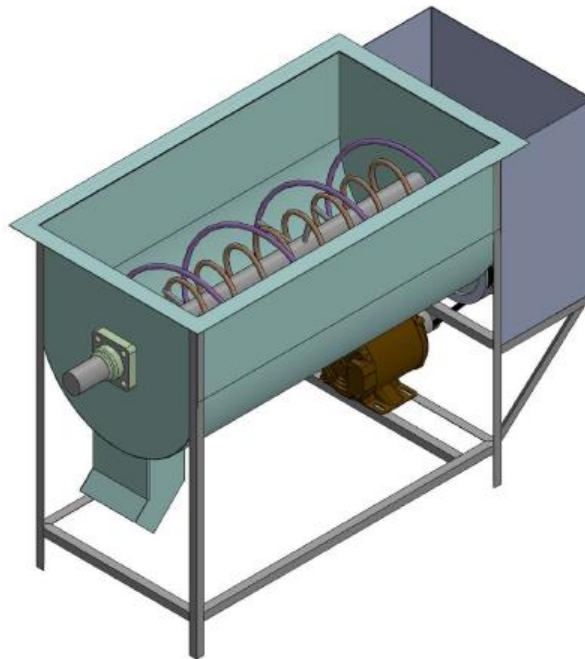
DESCRIPTORES: Recubrimientos, polvo, densidad, picnómetro de desplazamiento, líquido.  
ICS: 87.040

|              |
|--------------|
| 8<br>Páginas |
|--------------|

## ANEXO E: PROTOTIPO DEL MEZCLADOR



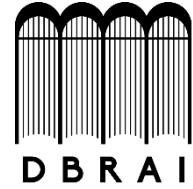
**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020



**Realizado por:** Michelle Roldán, 2020



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA  
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 24 / 06 /2020

|   |
|---|
| <b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>  |
| <b>Nombres – Apellidos:</b> Michelle Esthefanía Roldán Inca                 |
| <b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>  |
| <b>Facultad:</b> Facultad de Ciencias                                       |
| <b>Carrera:</b> Ingeniería Química  |
| <b>Título a optar:</b> Ingeniera Química                                    |
| <b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Lic. Luis Caminos Vargas Mgs. |



24-06-2020

0069-DBRAI-UPT-2020