

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“ELABORACIÓN DE MÁRMOL SINTÉTICO A PARTIR DE LA CÁSCARA DE HUEVO”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

Yesenia Gélica, Blanco Vásquez

Mayra Claudia, Perez Chahua

CALLAO, 2021

PERÚ

A handwritten signature in black ink, appearing to be "A. Vásquez".

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Mayra Claudia Perez Chahua".

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Guel".



## PRÓLOGO DEL JURADO

La presente tesis fue sustentada por los bachilleres **BLANCO VÁSQUEZ YESENIA GÉLIDA Y PEREZ CHAHUA MAYRA CLAUDIA** ante el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** conformado por los siguientes profesores ordinarios:

DR. CARRASCO VENEGAS LUIS AMÉRICO	PRESIDENTE
DR. CALDERÓN CRUZ JULIO CESAR	SECRETARIO
MG. REYNA SEGURA ANA MARÍA	VOCAL
MG. ROJAS ROJAS VICTORIA	MIEMBRO SUPLENTE
MG. RICARDO RODRÍGUEZ VÍLCHEZ	ASESOR

Tal como está asentado en el libro de actas °N 1 de tesis con ciclo de tesis, Folio °N 76 y Acta °N 75 de fecha **VEINTIUNO DE AGOSTO DE 2021**, para optar el título profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Titulación de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad establecido en el artículo 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N°245-2018-CU, del 30 de octubre del 2018.

Dedicamos este trabajo en primer lugar a Dios y nuestras familias, que nos motivan constantemente para alcanzar nuestras metas con su apoyo incondicional, y también a las futuras generaciones de colegas que contribuirán al país.

Muchas gracias familia Vásquez y Perez.

# ÍNDICE

TABLAS DE CONTENIDO .....	5
RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
INTRODUCCIÓN .....	9
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
1.1 Descripción de la realidad problemática .....	10
1.2 Formulación del problema .....	11
1.3 Objetivos .....	11
1.4 Limitantes de investigación (teórica, temporal y espacial).....	12
II. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Antecedentes .....	13
2.1.1. Internacionales:.....	13
2.1.2. Nacionales: .....	15
2.2. Bases teóricas .....	18
2.2.1. Mármol natural .....	18
2.2.2. Tratamientos superficiales del mármol natural.....	23
2.2.3. Carbonato de calcio:.....	24
2.2.4. Cargas para la resina poliéster.....	26

2.2.5. Cáscara de huevo de gallina ( <i>Gallus gallus</i> ) .....	28
2.2.6. Resina de poliéster .....	31
2.2.7. Sistemas de curado .....	39
2.2.8. Análisis comparativo entre mármol natural y sintético .....	39
2.2.9. Propiedades del mármol sintético (superficie sólida) .....	43
2.3. Marco conceptual .....	44
2.4. Definición de términos básicos .....	45
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	50
3.1. Hipótesis.....	50
3.1.1. Hipótesis general: .....	50
3.1.2. Hipótesis específicas: .....	50
3.2. Definición conceptual de las variables.....	50
3.2.1. Operacionalización de las variables.....	52
IV. DISEÑO METODOLÓGICO .....	53
4.1. Tipo y diseño de investigación .....	53
4.2. Método de investigación.....	53
1. Acondicionamiento y caracterización de la cáscara de huevo.....	53
2. Procedimiento experimental para la elaboración del mármol sintético ...	57
4.3. Población y muestra .....	64

4.4. Lugar de estudio y período desarrollado .....	64
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información .....	64
4.6. Análisis y procesamiento de datos .....	66
V. RESULTADOS .....	67
5.1. Resultados descriptivos.....	67
5.2. Resultados inferenciales .....	69
5.3. Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la Hipótesis. ....	70
5.3.1. Análisis estadístico de la variable cantidad de cáscara de huevo y microdureza:.....	70
5.3.2. Análisis estadístico de la variable cantidad de cáscara de huevo y resistencia a la compresión: .....	72
5.3.3. Análisis estadístico de la variable cantidad de cáscara de huevo y absorción al agua: .....	74
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	76
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados. ....	76
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares. ....	77
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes .....	78
VII. CONCLUSIONES.....	79
VIII. RECOMENDACIONES .....	80

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	81
ANEXOS .....	87

## TABLAS DE CONTENIDO

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Estándares Internacionales (ASTM) para el mármol ornamental.....	20
<b>Tabla 2</b> Propiedades físico - mecánicas del mármol .....	20
<b>Tabla 3</b> Composición química del mármol según su color.....	21
<b>Tabla 4</b> Exportación de mármol natural 2018 - 2021 .....	23
<b>Tabla 5</b> Análisis químico de cáscara de huevo de gallina.....	28
<b>Tabla 6</b> Dimensiones e indicadores de las variables .....	52
<b>Tabla 7</b> Materiales usados en la experimentación.....	65
<b>Tabla 8</b> Instrumentos usados en la experimentación.....	65
<b>Tabla 9</b> Equipos usados en la experimentación .....	66
<b>Tabla 10</b> Resultados de la caracterización de la cáscara de huevo .....	67
<b>Tabla 11</b> Cantidad de materias primas utilizadas en los experimentos .....	68
<b>Tabla 12</b> Resultados de análisis de laboratorio .....	68
<b>Tabla 13</b> Cáscara de huevo vs microdureza.....	71
<b>Tabla 14</b> Resumen del Modelo .....	71
<b>Tabla 15</b> Cáscara de huevo vs resistencia a la compresión.....	73
<b>Tabla 16</b> Resumen del modelo .....	73
<b>Tabla 17</b> Cáscara de huevo vs absorción de agua.....	75
<b>Tabla 18</b> Resumen del modelo .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Distribución de canteras de mármol en el Perú.....	22
<b>Figura 2</b> Clasificación de algunas cargas.....	27
<b>Figura 3</b> Gráfico tiempo de gel y el tiempo de polimerización de la resina...	38
<b>Figura 4</b> Relación de variables .....	51
<b>Figura 5</b> Pesado de la cáscara de huevo y mezclado con agua destilada ...	54
<b>Figura 6</b> Mezclado del HCl(1:1) con la solución de cáscara de huevo .....	55
<b>Figura 7</b> Determinación de la cantidad de carbonato de calcio .....	56
<b>Figura 8</b> Molienda la cáscara de huevo.....	57
<b>Figura 9</b> Medición y pesado de las materias primas .....	58
<b>Figura 10</b> Mezclado de la resina y el acelerante .....	59
<b>Figura 11</b> Vertido de la cáscara de huevo y estireno .....	60
<b>Figura 12</b> Mezclado con el MEKP .....	61
<b>Figura 13</b> Desmoldado de probetas .....	62
<b>Figura 14</b> Diagrama de flujo de la elaboración del mármol sintético .....	63
<b>Figura 15</b> Gráfica de normalidad cáscara de huevo vs microdureza.....	70
<b>Figura 16</b> Gráfica de normalidad - resistencia a la compresión.....	72
<b>Figura 17</b> Gráfica de normalidad - absorción de agua .....	74

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo elaborar un mármol sintético a partir de las cáscaras de huevo de gallina. Se comenzó con la recolección de las cáscaras de huevo de diferentes pastelerías ubicadas en el distrito de Comas – Departamento de Lima, realizándose el proceso de mezclado con las materias primas obteniendo un mármol sintético con buenas propiedades físicas y mecánicas.

El procedimiento utilizado fue caracterizar la cáscara de huevo para evidenciar la cantidad de carbonato de calcio que posee mediante análisis utilizando el HCl, obteniendo un 93,53% en peso promedio de 3 pruebas experimentales. Se realizaron 6 muestras experimentales tipo ensayo - error para determinar la composición del mármol sintético con 30%, 40% y 50% en peso de cáscara de huevo. Los resultados indican que el experimento 2 que contiene una composición del 40% de cáscara de huevo y 60% de resina tiene una microdureza de Knoop de 85.01 Kg/mm<sup>2</sup>, una resistencia de compresión de 588.7Kgf/cm<sup>2</sup> y una absorción de agua de 0.091 % peso.

Se concluye que el mármol sintético obtenido se puede usar de diferentes formas debido a sus buenas propiedades físicas y mecánicas finales, como en lapidas de los camposantos, decoraciones, revestimiento, sanitarios y otras. Asimismo, contribuye a la reducción de desechos orgánicos, concientizando a las futuras generaciones el aprovechamiento de otros residuos.

**Palabras claves:** mármol sintético, resina polyester, cáscara de huevo

## ABSTRACT

The present research work aims to produce a synthetic marble from chicken eggshells. It began with the collection of eggshells from different bakeries located in the district of Comas - Department of Lima, carrying out the mixing process with the raw materials obtaining a synthetic marble with good physical and mechanical properties.

The procedure used was to characterize the eggshell to show the amount of calcium carbonate it has through analysis using HCl, obtaining an average 93.53% by weight of 3 experimental tests. 6 experimental samples type trial - error were carried out to determine the composition of the synthetic marble with 30%, 40% and 50% by weight of eggshell. The results indicate that experiment 2, which contains a composition of 40% eggshell and 60% resin, has a Knoop microhardness of 85.01 Kg/mm<sup>2</sup>, a compression resistance of 588.7 Kgf / cm<sup>2</sup> and a water absorption of 0.091% by weight.

It is concluded that the synthetic marble obtained can be used in different ways due to its good final physical and mechanical properties, such as in gravestones of cemetery, decorations, cladding, sanitary ware and others. Likewise, it contributes to the reduction of organic waste, making future generations aware of the use of other waste.

**Keywords:** synthetic marble, polyester resin, eggshell

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el mármol natural en el Perú, es muy utilizado como revestimiento o decoración por su alta dureza y resistencia, debido a su componente principal que es el carbonato de calcio con más de un 90% en su composición, esta sal se encuentra en la cáscara de huevo de la gallina con un porcentaje similar. Sin embargo, tiene un alto costo en el mercado limitando la compra del mármol natural en hogares y/o empresas.

En el presente trabajo, se obtiene el mármol sintético aprovechando la cantidad de carbonato de calcio presente en la cáscara de huevo de gallina con buenas propiedades físicas y mecánicas según las normas UNE-ASTM, ofreciendo relevancia significativa en el aspecto económico, ambiental y social. El mármol sintético toma la forma de la imaginación que el cliente elija y exija, compitiendo así en el mercado con el mármol natural, ya que este producto puede ser utilizado para el revestimiento de baños, cocinas, paredes, pisos, barandas de balcones, escaleras, lavatorios y otros; teniendo un bajo costo y mayor accesibilidad para todos los hogares peruanos.

A su vez se reducen los desechos orgánicos, evitando la contaminación del medio ambiente y disminuyendo la explotación desmedida de yacimientos de mármol natural.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción de la realidad problemática**

El Perú es un país muy rico en metales y no metales de manera natural y el mármol natural se encuentra dentro de la minería no metálica, donde su producción desde febrero de 2018 a febrero del 2021 fue de 21 931.97 Toneladas (Veritrade). En el 2019, los productos de mayor demanda, tanto en Lima como en provincias, vienen siendo el granito Negro Aracruz, mármol Carrara, granito Crystal, granito Marrón Otoño, el Silestone Miami White y el Blanco Norte mármol. (Revista Economía, 2019)

Según la agencia peruana de noticias “Andina” (Masías, 2018): “Al año generamos 1 200 toneladas de cáscaras de huevo, que son ricas en calcio, pero la forma en qué se presenta la cáscara no es digerible para las personas”, empresa Ovosur, dedicada a suministrar la yema y la clara de los huevos a la industria alimentaria (panetones, pasteles, mayonesa, etc.).

Además, actualmente existen aproximadamente 4 300 panaderías – pastelerías en todo Lima Metropolitana (La voz de emprendedores, 2020), las cuales en promedio por cada establecimiento usan 63 kg de huevos por día según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2009), lo cual a su vez genera 6.3 kg de cáscaras de huevo por día, y en un mes casi 200 kg, sin tener utilidad económica por ser desechadas.

Esta situación, permite pensar en ¿Qué se hace con las cáscaras de huevos desechadas? ¿Se podrá fabricar un mármol sintético con estas cáscaras de huevo? ¿Qué características tendría este mármol sintético?

Las respuestas a estas interrogantes llevan a plantear la elaboración del mármol sintético a partir de las cáscaras de huevo, el cual es tema de la presente investigación.

## **1.2 Formulación del problema**

### **Problema general:**

¿Cómo elaborar mármol sintético a partir de la cáscara de huevo?

### **Problemas específicos:**

- a) ¿Qué cantidad de carbonato de calcio contiene la cáscara de huevo?
- b) ¿Cuáles son las variables que intervienen en el proceso de elaboración del mármol sintético?
- c) ¿Cuál debe ser la composición adecuada del mármol sintético?

## **1.3 Objetivos**

### **Objetivo general:**

Elaborar un mármol sintético a partir de la cáscara de huevo.

### **Objetivos específicos:**

- a) Determinar la cantidad de carbonato de calcio en la cáscara de huevo.
- b) Determinar y evaluar las variables que intervienen en el proceso de elaboración del mármol sintético.
- c) Determinar la composición adecuada del mármol sintético.

#### **1.4 Limitantes de investigación (teórica, temporal y espacial)**

##### **Teórica**

Nuestro trabajo no cuenta con muchas fuentes de información nacional, pero si se dispone de varias fuentes internacionales como revistas y trabajos de investigación, que permite contrastar nuestros resultados.

##### **Temporal**

No hubo inconvenientes de tiempo para el desarrollo del presente trabajo.

##### **Espacial**

Debido a la situación actual el Laboratorio de Unidades Operacionales (LOPU) de la Universidad Nacional del Callao no está disponible, por tal motivo tendremos que disponer de un laboratorio externo que nos brinde sus instalaciones para realizar nuestras pruebas experimentales y las pruebas del producto terminado se realizó en la empresa MTL Geotecnia.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

A continuación, se presentan los antecedentes, estudios que guardan relación directa o indirecta con el objeto de estudio de esta investigación.

#### 2.1.1. Internacionales:

De León (2015). “Fabricación de piedra artificial a partir de residuos”. Realizó la fabricación de una piedra artificial a partir de residuos de vidrio, realizando el trabajo experimental con un único tamaño de vidrio de diferentes granulometrías, las cuales se mezcló con resina poliéster para obtener la piedra artificial (mármol sintético), además de incorporar vibración, vacío y presión en sus conformados, para la caracterización de la piedra artificial se llevó a cabo los ensayos específicos para la piedra aglomerada, según las normas UNE EN 14617, se realizan 8 ensayos con diferentes granulometrías de 2 tipos de vidrio, 40 gramos de resina epóxica y 20 gotas de catalizador, concluyendo que el tamaño de granos no afecta la características mecánicas del producto terminado, teniendo una resistencia a la flexión de 27 – 36 MPa, absorción de agua de 0.12 – 0.37 % que comparada con el mármol natural es superior, y una dureza de 29 – 34 HK.

Posada et al. (2012). “Evaluación del desempeño mecánico del mármol sintético basado en materiales compuestos de poliéster y carbonato de calcio”. Obtuvieron un mármol sintético, con el cual se pretende reemplazar la materia

prima de origen natural en aplicaciones sanitarias y decorativas con poliéster y carbonato de calcio. Experimentalmente partieron de una matriz polimérica reforzada empleando diferentes contenidos de carbonato de calcio (5, 10, 15, 20, 25 y 30%) principalmente debido a su bajo costo y por ser un material de fácil acceso. Finalmente se determinó que contenidos de carbonato de calcio superiores al 15% produce un material completamente rígido, también que niveles superiores al 25 % de carbonato de calcio incrementan notoriamente la rigidez del material compuesto y por tanto se deteriora su resistencia al impacto, que las resinas poliéster son materiales promisorios para ser empleados como matrices para el desarrollo de mármoles sintéticos puesto que son buenos aislantes térmicos y eléctricos, anticorrosivos, tienen alta resistencia mecánica y son más livianos que los materiales convencionales.

Santander (2012). “Estudio de viabilidad en aplicación de poliéster dicitopentadienico (dcpd) adicionado con carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) para acabados interiores en viviendas de interés social”. Presentó resultados del comportamiento físico, mecánico y químico que presenta de un tipo de resina poliéster dicitopentadineica de referencia P436 tixotrópica adicionada con carbonato de calcio y pigmento. Para obtener una buena aplicación y un buen acabado, se realizó el método de ensayo - error para determinar la cantidad optima de carbonato de calcio que se debe aplicar, se hizo con 30%, 40% y 65% de concentración. Al final determinó una mezcla optima con el 30% de

carbonato de calcio cuya tensión es de 120.68 Mpa, la tracción de 52.37 MPa, resistencia química al hipoclorito de sodio de 0.1813% en pérdida de peso y absorción de agua de 0.095 en 24 horas.

Cotto y Alvarado (2005). “Mármol sintético y/o superficie sólida de resina poliéster con carbonato de calcio y alúmina”. Obtuvieron un mármol sintético o superficie sólida que es un producto fabricado a partir de una mezcla de granos sintéticos, cargas (carbonato de calcio y alúmina) con resina poliéster para crear una superficie lisa parecidas a las piedras. Utilizaron en este estudio el carbonato de calcio obtenido a partir de la piedra caliza. Después de 12 pruebas experimentales finalmente concluyeron que con 40.98% de resina y 19.67% de carbonato de calcio se obtiene un producto óptimo para el mercado.

### **2.1.2. Nacionales:**

Burga (2018). “Aprovechamiento de residuos agroindustriales de cáscara de huevo como insumo para la elaboración de pintura látex de color”. Aprovechó los residuos de cáscara de huevo como insumo para la elaboración de pintura látex de color para proponer una solución social, ambiental y técnica, se recolectaron 28.73 kg de cáscara de huevo procedentes del Centro de Producción Tottus, las cuales pasaron por un proceso de separación de membrana proteica para luego ser secadas a 55.3 ° C por 100 minutos. Luego, las muestras secas fueron molidas con un molino eléctrico Y800 por 1 minuto

a una velocidad de 34000 RPM, enseguida dicho producto fue separado con un tamiz de abertura de malla 325 y posteriormente se formuló la pintura látex. Evaluaron las características fisicoquímicas de viscosidad, densidad, poder cubriente, tiempo de secado, color en coordenadas R, G, B para cada tratamiento y el aspecto cualitativo mediante la aplicación en una pared de concreto, finalmente verificaron que la cáscara de huevo contiene  $90.37 \pm 0.97$  % de carbonato de calcio, además el análisis granulométrico confirmó que este carbonato presentó un tamaño de partícula menor a  $45 \mu\text{m}$  apto para ser utilizado en pintura látex de color.

Guevara y Castro (2018). “Diseño de planta para la producción de carbonato de calcio a partir de la concha de abanico”. Utilizaron los residuos de concha de abanico de la provincia de Sechura, con el fin de erradicar la contaminación producida por dichos residuos, a través del diseño de una planta industrial para la obtención de carbonato de calcio. A través de pruebas experimentales determinaron que se puede obtener carbonato de calcio de muy alta pureza a partir de los residuos de las conchas de abanico, utilizando un lavado con hidróxido de sodio al 10 % de volumen, un lavado con ácido clorhídrico al 10 % de volumen y exponiendo las conchas a entre 180 y 220 °C de temperatura en un horno. Recomiendan investigar de qué manera se puede controlar y mejorar la blancura del carbonato de calcio, ya sea hallando una temperatura

específica en el horno o algún proceso de reacción química que mejore la blancura del carbonato de calcio.

Sanchez y Huanio (2017). “Determinación de la granulometría óptima del carbonato de calcio obtenido de la cáscara de huevo para el mejoramiento de suelos ácidos del valle de Santa”. Determinaron una óptima granulometría del carbonato de calcio de las cascaras de huevo para mejorar los suelos ácidos del valle de Santa, utilizaron un diseño estadístico que consiste en un diseño completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial de 3x3, 3 valores de granulometría (1, 0.250 y 0.125mm) y 3 tiempos diferentes (20, 15 y 10 días) para cada una de ellas, es decir, tratamientos con 3 repeticiones para cada interacción, siendo un total de 27 experimentos; tanto para pH y acidez haciendo un total de 54 experimentos , cuyos resultados fueron evaluados estadísticamente en el Excel a fin de determinar las diferencias significativas entre ellos, también realizaron diferentes análisis fisicoquímicos de la cáscara de huevo. Dando como resultado final que la cantidad óptima de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) es de 1670 kg  $\text{CaCO}_3$  / ha, para el mejoramiento de suelos ácidos.

Ríos y Velásquez (2016). “Obtención de carbonato de calcio a partir de valvas residuales de caracol (thais chocolata)”. Obtuvieron el carbonato de calcio de las valvas de caracol, mediante el método experimental que se dio con tres condiciones de procesos: granulometría, tiempo y temperatura de calcinación

a las que se sometieron las valvas de caracol, y debido a ello se pudieron obtener altos porcentajes de carbonato de calcio en intervalos promedio de 60% al 95%, se realizó el diseño exponencial de estos tres factores, la metodología se basó en la cuantificación de carbonato de calcio a través del análisis volumétrico.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Mármol natural**

Es una roca metamórfica junto con las pizarras, gneis, migmatitas, anfibolitas y serpentinas. Sus ocurrencias en Perú se ubican principalmente en las regiones Arequipa, La Libertad, Ica, Lima, Moquegua y Puno. El mármol proviene del metamorfismo de contacto de calizas cortadas por intrusiones magmáticas. Se trata de rocas compactas, muy bien cohesionadas, formadas por más de 90 % de calcita y presenta texturas uniformes, jaspeadas o veteadas y coloraciones variadas (blanco, gris claro, beige, castaño, negro, etc.). Las regiones del Perú más importantes por la producción de mármol son Junín, Lima, Ica, Ancash y Huancavelica, destacando las ocurrencias de cerro Mito en Junín) y Luna en Huancavelica. (Díaz Valdiviezo, Manrique Contreras, & Siancas Girón, 2020)

## **Propiedades del mármol natural**

Son de gran importancia para evaluar la resistencia mecánica y estabilidad de los materiales para garantizar la seguridad estética en la construcción de obras civiles.

Las características petrográficas abarcan la determinación de los minerales constituyentes y la forma cómo estos se relacionan espacialmente (texturas y estructuras). Tales características se manifiestan a diferentes escalas; por ello, es importante realizar descripciones macroscópicas y microscópicas. (Díaz Valdiviezo, Manrique Contreras, & Siancas Girón, 2020)

## **Composición mineralógica**

El componente básico del mármol es el carbonato de calcio, cuyo contenido supera el 90 %, los demás componentes son considerados accesorios o impurezas, siendo estas las que nos dan gran variedad de colores en los mármoles, y definen sus características físicas. Con frecuencia otros minerales aparecen juntos a la calcita formando el mármol, como el grafito, clorita, talco, mica, cuarzo, pirita y algunas piedras preciosas como el corindón, granate y zirconita. Cuando la calcita o dolomita representan el 95 % de la roca se denomina mármol blanco; si las impurezas (silicatos de Ca, Mg) se concentran en planos de sedimentación, se tienen los mármoles veteados. Los colores predominantes de los mármoles son blancos, crema, amarillo, verde, gris, rojizo, rosado, negro y matizado; este último es el más común. Tras un proceso

de pulido por abrasión, el mármol alcanza alto nivel de brillo natural; es decir, sin ceras ni componentes químicos. (Díaz Valdiviezo, Manrique Contreras, & Siancas Girón, 2020)

**Tabla 1**

*Estándares Internacionales (ASTM) para el mármol ornamental*

Propiedades	Valores
Densidad (mínima) - kg/m <sup>3</sup>	2590
Absorción de agua (máxima) - %	0.2
Resistencia a la compresión (mínima) – Kg/cm <sup>2</sup>	530.25
Microdureza Knoop (Kgf/mm <sup>2</sup> )	90 - 160
Resistencia a la abrasión (mínima) – Dureza	10
Resistencia a la flexión (mínima)	6.89

Fuente: Boletín Ingemmet N° 70 (2020, p. 89)

**Tabla 2**

*Propiedades físico - mecánicas del mármol*

Clase de Roca	Peso Específico (T/m <sup>3</sup> )	Absorción de agua
		Peso (%)
Mármol	2.65 - 2.85	0.2 - 0.6

Fuente: Boletín Ingemmet N° 70 (2020, p. 90)

**Tabla 3***Composición química del mármol según su color*

Mármol	Menia	Imperial Gold	Imperial Beige	Filetto Khtmia	Sylvia	Galala Cream	Sunny	Galala Classic
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	0.32	2.93	0.89	2	0.64	0.63	0.38	0.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1	0.9	0.43	0.61	0.2	0.02	0.12	0.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.43	0.7	0.23	0.07	0.06	0.04	0.06
MgO	1.41	1.31	1.4	1.67	1	1.39	2.3	1.58
CaO	54.09	51.77	53.18	52.38	54.32	53.97	52.94	53.63
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.06	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01
K <sub>2</sub> O	0.02	0.18	0.08	0.12	0.03	0.01	0.02	0.03
LOI	44.01	42.42	43.3	42.96	43.73	43.9	44.2	43.86

Fuente: LOI (Pruebas y ensayos de pérdida de ignición), es la masa de humedad y material volátil presente en una muestra que constan habitualmente de "agua combinada" y dióxido de carbono de carbonatos. Recuperado del Boletín Ingemmet N° 70 (2020, p. 91)

**Estructuras**

- a. Diaclasas: condicionan el tamaño de los bloques
- b. Restos de estratificación: bandeados, veteados
- c. Pliegues: diferencias de espesor en flancos y charnelas

**Composición** → calcita >> dolomita (alternancias no deseadas) componentes accesorios influyen en el color:

- a. Blanco: mármol puro (calcita)
- b. Gris-negro: materia orgánica (grafito)
- c. Verde: clorita y otros silicatos

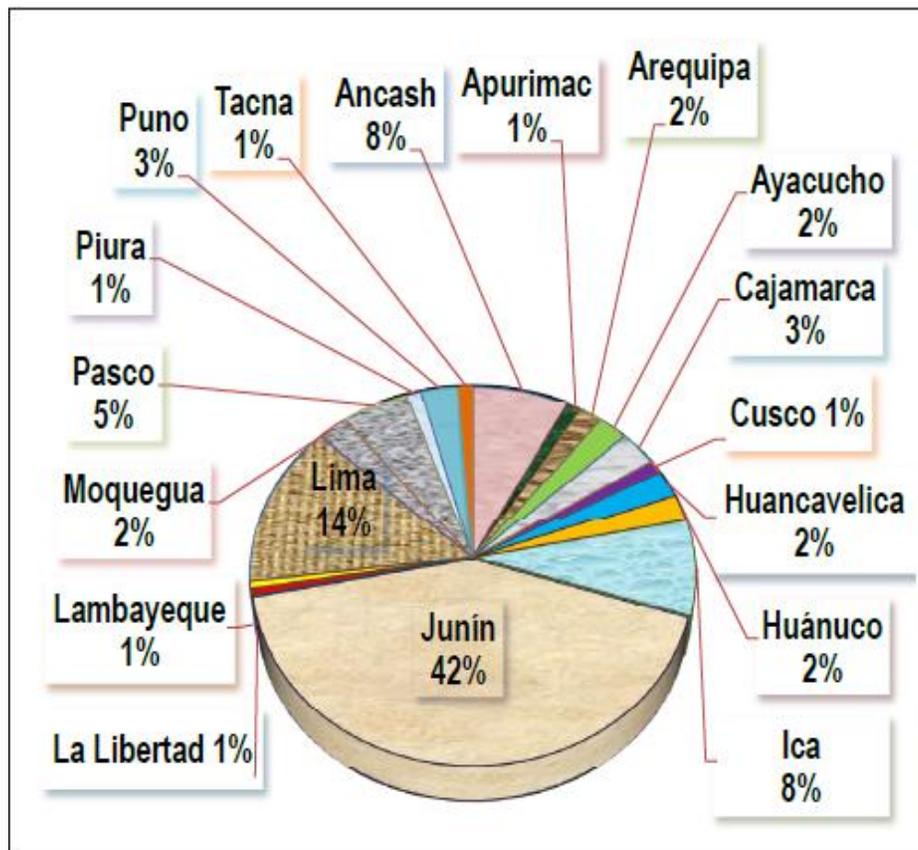
- d. Rojo-rosado: hematites o carbonatos de Mn
- e. Amarillo-crema: limonita - Veteado: minerales distintos

**Textura** → modifica el aspecto estético:

- a. Tamaño de grano (fino, medio, grueso)
- b. Orientación de los granos.

**Figura 1**

*Distribución de canteras de mármol en el Perú*



Nota: Distribución de 170 ocurrencias y canteras de mármol en Perú por regiones.

Elaborado con la Base de Datos Geocientífica – GEOCATMIN 2018.

Recuperado del Boletín Ingemmet N° 70 (2020, p. 112)

**Tabla 4**

*Exportación de mármol natural 2018 - 2021*

<b>Año</b>	<b>Exportación de mármol(kg)</b>	<b>Exportación de mármol (Tn)</b>
2018	9146043.15	9,146.04
2019	6711813.93	6,711.81
2020	5525759.65	5,525.76
2021	548349.95	548.35
Total	21931966.68	21,931.97

Fuente: (Veritrade)

### **2.2.2. Tratamientos superficiales del mármol natural**

Según (Díaz Valdiviezo, Manrique Contreras, & Siancas Girón, 2020):

**Desbastado:** Acabado tosco obtenido a golpes de maza y martillo.

**Averrugado:** Acabado sinuoso obtenido a punta de puntero, generalmente enmarcado en bordes de labra más fina.

**Aserrado:** Acabado resultante del corte a sierra.

**Apomazado:** tratamiento con polvo abrasivo de piedra pómez. La superficie es lisa y mate.

**Pulido:** Es un tratamiento consecutivo de apomazado, suavizado y abrillantado. El suavizado es un tratamiento abrasivo de granulometría muy fina y el abrillantado se realiza mediante barnices frotados con bayetas de lana mediante máquinas de pulir. El resultado es una superficie lisa y brillante.

**Abujardado:** Se realiza mediante bujardas que proporcionan una textura áspera de rugosidad uniforme.

**Flameado:** Consiste en aplicar una fuente brusca de calor a la superficie de ciertas rocas, como es el caso del granito. Los feldespatos, sensibles al calor, se descascarillan y proporcionan una superficie rugosa y caprichosa, no uniforme.

### **2.2.3. Carbonato de calcio:**

Es un compuesto químico ternario perteneciente a la categoría de las sales (combinación química de un ácido y una base) derivadas del ácido carbónico (anión carbonato), formado por un átomo de calcio (Ca), un átomo de carbono (C) y tres átomos de oxígeno (O), cuya fórmula química es  $\text{CaCO}_3$ .

La nomenclatura química nombra a este compuesto inorgánico de acuerdo a tres sistemas de nomenclatura: bajo el enfoque de la nomenclatura sistemática es nombrado como trioxcarbonato (IV) de calcio, bajo el enfoque de la nomenclatura stock es nombrado como carbonato de calcio y bajo el enfoque de la nomenclatura tradicional es nombrado como carbonato cálcico.

Este compuesto es muy abundante siendo componente fundamental de minerales, rocas, y algunos esqueletos de invertebrados como moluscos, corales; así como espículas de esponjas y como parte de la cáscara del huevo de vertebrados. En la naturaleza, este compuesto está presente en tres polimorfos: aragonita, calcita y la valerita. (Hernández Ávila, Salinas Rodríguez, Blanco Piñon, Cerecedo Sáenz, & Rodríguez Lugo, 2014)

La calcita es el mineral más común formador de rocas. Usualmente este mineral es de color blanco, aunque en algunas ocasiones puede ser transparente, pálido o mostrar diferentes escalas de grises, rara vez amarillo y azul. Presenta un clivaje romboédrico, un lustre vítreo y una dureza de 3 dentro de la escala de Mohs y reacciona con efervescencia ante el ácido clorhídrico. (Hernández Ávila, Salinas Rodríguez, Blanco Piñon, Cerecedo Sáenz, & Rodríguez Lugo, 2014)

El carbonato de calcio precipitado es un polvo blanco micro cristalino y fino, el carbonato de calcio es inodoro e insaboro y es estable en el aire. Es casi insoluble en agua 0.065 en un litro de agua a 200 C; la principal propiedad química es la de neutralizar ácidos, es una propiedad común de todos los carbonatos.

Los productos industriales del carbonato de calcio son casi tan variados como sus aplicaciones. El tamaño de grano es determinante en el precio. Para cargas se exige, en general, una elevada blancura y tamaño de grano comprendido entre 40-20 mm (masillas, brea de calafatear, sellantes, adhesivos) y 10-0.7 mm (papel, pinturas, plásticos, caucho). También hay especificaciones referentes a la absorción de aceite, superficie específica y peso específico aparente. En general, el carbonato de calcio es el mineral más importante para la industria del plástico. (Santander Lopez, 2012)

### **a) Propiedades físicas y químicas**

El carbonato de calcio es un mineral que tiene una reacción efervescente cuando se pone en contacto con ácidos diluidos desprendiendo CO<sub>2</sub>. Ejemplo:



Es un mineral que se descompone al calentarse en un rango de temperatura que varían entre 825 y 1 339 °C formando óxido de calcio o cal viva. El carbonato de calcio es un polvo blanco o cristales incoloros, inodoros e insípidos, insoluble en alcohol, con baja solubilidad en agua (1-2 mg/100 ml); altamente soluble en ácidos diluidos y cloruro de amonio. Tiene una densidad entre 2,6 y 2,95 g/cm<sup>3</sup>, una dureza de 3 a 4 en la escala de Mohs, una humedad máxima de 0,09 %. (Hernández Ávila, Salinas Rodríguez, Blanco Piñon, Cerecedo Sáenz, & Rodríguez Lugo, 2014)

#### **2.2.4. Cargas para la resina poliéster**

Una de las cargas más conocidas es el carbonato de calcio para reducir costos ya que actúa de forma químicamente inerte, afectando significativamente la expansión térmica, transparencia, estabilidad térmica, problemas de pandeo, etc. En algunas ocasiones esta carga puede sustituir hasta el 70% del volumen total del compuesto a producir.

**Figura 2**

*Clasificación de algunas cargas*

<b>Familia química.</b>	<b>Ejemplos.</b>
<b>Inorgánicos.</b>	
Óxidos	Vidrio (fibras, esferas, esferas huecas), MgO, SiO <sub>2</sub> , Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Hidróxidos	Al(OH) <sub>3</sub> , Mg(OH) <sub>2</sub>
Sales	CaCO <sub>3</sub> , BaSO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> , fosfatos.
Silicatos	Talco, mica, caolín, wollastonita, montmorillonita, nanoarcillas, asbestos
Metales	Boro, acero
<b>Orgánicos</b>	
Carbón, grafito	Fibras de carbón, nanotubos de carbón, negro de humo, etc.
Polímeros naturales	Fibras de celulosas, lino, algodón, almidón, etc.
Polímeros sintéticos	Poliamida, poliéster, fibras de poli vinil alcohol

Fuente: Ortiz (2011)

Dentro de la clasificación de las cargas encontramos algunos aditivos, los cuales son cargas clasificadas según la función específica que desempeñan en el compuesto. Como la habilidad para modificar las propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas, así como la retardancia a la flama, características de proceso, permeabilidad, o costo de formulación. A continuación, se clasifican las cargas de acuerdo a algunas de sus funciones primarias:

- Modificadores de propiedades mecánicas, eléctricas y magnéticas.
- Retardante de flama.
- Ayudas de proceso.
- Modificadores de superficie.

### 2.2.5. Cáscara de huevo de gallina (*Gallus gallus*)

La cáscara de huevo de gallina químicamente está compuesta de 1,6% de agua, 95,1 % de minerales, de los cuales 93,6% corresponden a carbonato de calcio, 0,8% de carbonato de magnesio y 0,73% de fosfato tricálcico, y finalmente 3,3% de materia orgánica. (Navarro Muedra, 2013)

**Tabla 5**

*Análisis químico de cáscara de huevo de gallina*

Ensayo	Análisis	Unidad De Medida
pH	12.1	Ppm
Arsénico	< 3	Ppm
Metales pesados	< 20	Ppm
Mercurio	0.025	Ppm
Selenio	0.0055	Ppm
Plata	8.29	Ppm
Sulfuro	0.034	Ppm
Aluminio	< 20	Ppm
Bario	30.9	Ppm
Cadmio	< 5	Ppm
Calcio	655000	Ppm
Cobalto	< 5	Ppm
Cobre	< 2.5	Ppm
Hierro	10	Ppm
Magnesio	5440	Ppm
Fosforo	1470	Ppm

Fuente: Manual de Bioquímica de los alimentos.

El porcentaje de calcio presente en la cáscara de huevo no varía independientemente de la raza, procedencia (patio o industria), ya que la gallina brinda al cascarón la cantidad necesaria de calcio para su correcta formación. Si la ingestión de calcio no satisface las necesidades para la producción de huevos, la gallina extraerá el calcio depositado en sus huesos. (Navarro Muedra, 2013)

Es importante efectuar un lavado a la cáscara de huevo antes de utilizarla para el consumo como fuente de nutrientes, ya que normalmente existe una contaminación interna por enterobacterias, especialmente por Salmonella, en un huevo de cada 4.000. El problema de la contaminación se centra a partir de materia fecal de las gallinas o por una mala manipulación. Los huevos, tras su lavado, presentan los menores niveles de contaminación por enterobacterias. Estos microorganismos no son muy resistentes a los productos de limpieza y desinfección habitualmente empleados, pueden crecer en presencia o en ausencia de oxígeno, aunque en los alimentos, Salmonella posee una escasa capacidad de multiplicación si no existe oxígeno. Esto no supone un problema en el huevo, ya que las condiciones son totalmente aeróbicas. No obstante, además de los patógenos evidentes, existen más de 30 géneros dentro de la familia de las enterobacterias. Entre ellos encontramos a diversos patógenos potenciales, como Escherichia, Klebsiella, Salmonella, Shigella y Yersinia. Un microorganismo que preocupa recientemente es Enterobacter sakazakii, un microorganismo conocido desde hace tiempo como

un claro contaminante fecal. Una de las vías de transmisión más evidentes es la de los insectos, ya que este microorganismo se encuentra habitualmente en el intestino de las moscas. Una vez que se produce la contaminación, sea a partir de una vía fecal o por insectos, suele adherirse a las superficies y ser una fuente de diseminación generalizada. En este sentido, la cáscara puede ser una vía de contaminación importante. No obstante, el microorganismo más frecuentemente aislado a partir de la cáscara de huevo sin lavar es *Escherichia coli*, con más del 50% respecto al total y con una reiterada detección de *Salmonella* si existen animales portadores. Sin embargo, cuando se realiza un lavado, con la correspondiente desinfección, el microorganismo más frecuentemente aislado es diferente, perteneciente al género *Enterobacter*, y en ningún caso se detecta la presencia de *Salmonella*. Además, en la superficie de la cáscara de los huevos no lavados se detecta la presencia de enterobacterias durante toda la vida comercial del huevo, aun cuando el nivel de contaminación sea bajo y no se detecten restos fecales en su superficie, lo que supone un riesgo para los consumidores potenciales. Esto puede ser particularmente peligroso si después de tocar un huevo, o de manipularlo, seguimos tocando otras superficies, especialmente si son húmedas, lo que facilita la contaminación cruzada a otras áreas. Si se adopta el lavado doméstico como medida protectora, éste no deberá realizarse solo con agua o con estropajos. Se deberán lavar sólo huevos limpios, no manchados, mediante inmersión y con una solución acuosa de un desinfectante,

preferentemente hipoclorito, durante un mínimo de 5 minutos. En algunos casos se podrían emplear detergentes, pero si el enjuagado posterior no se realiza correctamente, existe el riesgo de que queden residuos químicos. Finalmente, hay que proceder a enjuagar la cáscara con abundante agua y secar con papel de cocina limpio, no con paños o trapos. (Gómez Recinos, 2011)

#### **2.2.6. Resina de poliéster**

Son las más usadas, una Resina de poliéster es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o "endurecedor". Las posibilidades de aplicación de las resinas dependen en gran medida de los catalizadores o endurecedores que intervienen en el proceso de curado. Su obtención industrial da lugar a un producto sólido, que debe ser disuelto para obtener la fluidez necesaria para su manipulación. Por lo que se suministra disuelta en estireno, que reacciona químicamente con el catalizador y el endurecedor.

Las resinas de poliéster son las más usadas, y existen diferentes tipos. Están diseñadas para facilitar el trabajo y para lograr en los productos fabricados, la máxima calidad y duración. Cambiando una o varias materias primas en el reactor, se obtienen diferentes tipos de poliéster: Tereftálico, ortoftálico, isoftálico, bisfenólico, vinilester y dicitlopentadieno. Que permiten obtener cualidades en los productos como alta resistencia al fuego, alta resistencia a

los rayos UV y a la humedad, con mayor o menor resistencia química, o resistencia al impacto y a las altas temperaturas.

Las propiedades de las resinas de poliéster responden a las siguientes: baja viscosidad, manipulación fácil durante la elaboración, tiempo de curado rápido, gran rango de aplicaciones debido a los diferentes tipos de resinas de poliéster que pueden conseguirse, posibilidades de curado tanto a temperatura ambiente como a altas temperaturas, buena resistencia eléctrica, magnífica relación/ calidad precio y buenas propiedades mecánicas. (De Leon González, 2015)

#### **2.2.5. Endurecimiento y maduración de la resina**

Para que el líquido espeso, tome la forma final y se endurezca, hace falta que ocurra una reacción química o proceso de endurecimiento, en el cual, la resina pasa de líquida a sólida desprendiendo calor, lo que se conoce como reacción exotérmica.

Para que ocurra el proceso de endurecimiento, es necesario someter al poliéster a temperatura, luz ultravioleta o agregar agentes químicos llamados aceleradores y catalizadores. Estos son los más usados en nuestro medio, por lo práctico y rápido del proceso.

Una vez se inicia el proceso, se reconocen tres estados en el mismo: Tiempo de gel, exotérmica y maduración. El tiempo de gel es el tiempo transcurrido

entre la adición de los agentes químicos (acelerador y catalizador) y la transformación de la resina en una forma gelatinosa. Este es el tiempo que tenemos disponible para vaciar o trabajar la resina. Una vez se pase el tiempo de gel, empieza a subir la temperatura (reacción exotérmica), llegando hasta un máximo donde se encuentre la temperatura y tiempo de exotérmica. Este es uno de los aspectos más importantes a controlar: si la temperatura de exotérmica es muy alta, se arriesga a dañar el molde o la pieza que estamos fabricando. Esta limitante, presente debido a que el poliéster no libera fácilmente el calor (aislante térmico). Luego de un tiempo durante, usualmente más de una hora, nuestro poliéster ya está a temperatura ambiente y posee una buena dureza. En este momento se puede sacar la pieza del molde. Contrario a lo que la mayoría piensa, la pieza en poliéster, aún no tiene todas sus propiedades mecánicas y su resistencia química, ya que le falta maduración. Esta se logra con el paso del tiempo, dejando la pieza varias semanas a temperatura ambiente o mediante el proceso de post curado. En este proceso, la pieza, se somete a temperatura, generalmente 3 horas a 80°C. (Santander Lopez, 2012)

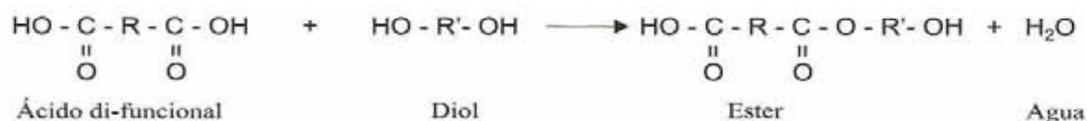
#### **2.2.6. Reacción de polimerización de la resina poliéster, cobalto y el Mek**

Bajo la denominación de resinas de poliéster se comercializan una serie de precursores para sintetizar toda una familia de materiales poliméricos que se utilizan como matrices de materiales compuestos. Las resinas tipo poliéster

forman una buena interfase con las fibras de vidrio, obteniéndose materiales compuestos con una excelente relación calidad / precio. Por este motivo, son las más utilizadas para cascos de barcos, piezas para automóviles, laminados industriales, piscinas y depósitos para agua y otros alimentos, ventiladores y otros electrodomésticos, sillas, mesas y demás mobiliario, etc. (Ariza, 2012)

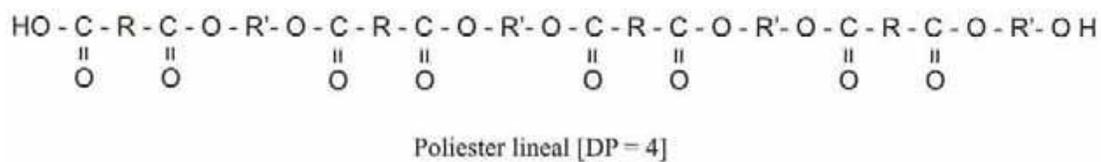
El poliéster se forma por una reacción en etapas en la que un ácido difuncional reacciona con un dialcohol para dar un éster con la liberación de una molécula de agua:

*Fórmula de reacción química entre un ácido y el dialcohol*



Los grupos ácidos y alcoholes de los extremos permiten que se forme un polímero de cierto peso molecular, como el siguiente con un grado de polimerización 4:

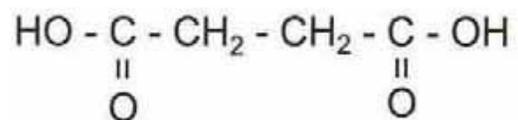
*Formulación química del poliéster*



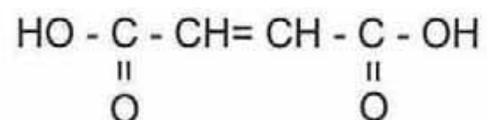
Si alcanza suficiente peso molecular este poliéster lineal es un termoplástico, un sólido a temperatura ambiente que funde con un aumento de la temperatura.

En cambio los poliésteres que se utilizan como matrices para los materiales compuestos son termoestables (Ariza, 2012). Para ello se utiliza en la polimerización una mezcla de ácidos saturados e insaturados:

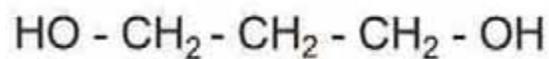
*Formulación química de ácidos saturados*



Ácido saturado di-funcional (AA)



Ácido insaturado di-funcional (U=U)



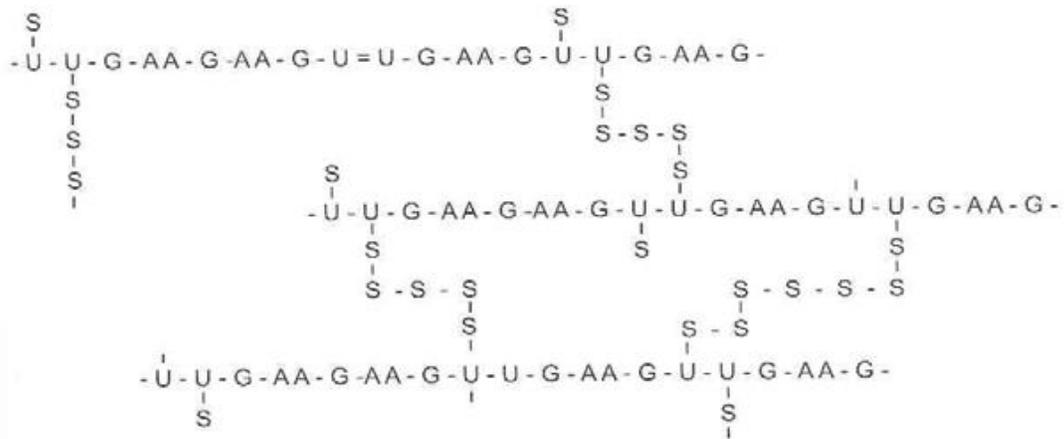
Alcohol di-funcional (Glicol, G)

Ariza explica que una vez formado el poliéster las cadenas lineales contienen los dobles enlaces del ácido insaturado (U=U), los cuales pueden ser atacados produciéndose un entrecruzamiento de las cadenas con estireno (S):

*Fórmula de la molécula de poliéster lineal*



*Reacción del poliéster entrecruzado con estireno*



Las resinas comerciales de poliéster están formadas por moléculas lineales de poliéster insaturado disueltas en estireno. La viscosidad de la disolución se modifica con el peso molecular del polímero y con la cantidad de estireno adicionada. A esta resina fluida se le añade un acelerador (normalmente una sal orgánica de cobalto) y seguidamente un iniciador (también llamado catalizador de forma incorrecta) que suele ser un peróxido orgánico (por ejemplo, el peróxido de metil etil cetona). El iniciador reacciona con el acelerador creando radicales libres que atacan los dobles enlaces de la

molécula de poliéster insaturado y del estireno, produciéndose el entrecruzamiento que solidifica el poliéster. Estas reacciones de curado se pueden producir incluso a temperatura ambiente, dependiendo del acelerador e iniciador que se utilicen. (Ariza, 2012)

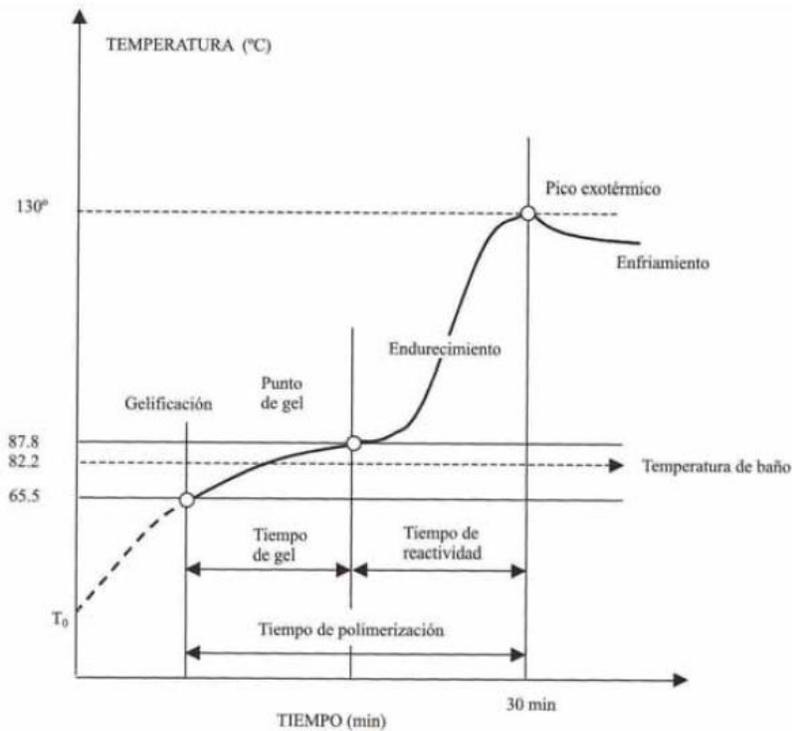
Utilizando este prepolímero para la fabricación de la matriz se elimina también el problema de la producción de agua, ya que la reacción de esterificación ya se ha producido y las reacciones de entrecruzamiento son por adición mediante radicales libres.

Durante el proceso de curado la viscosidad de la resina se va incrementando hasta llegar a ser un sólido. Además, las reacciones son exotérmicas y la temperatura también aumenta hasta alcanzar un máximo que se denomina pico exotérmico. (Ariza, 2012)

Para el seguimiento de la temperatura en función del tiempo Ariza permite establecer unos tiempos fundamentales para el procesado del material compuesto, como es el tiempo de gel y el tiempo de polimerización de la resina:

**Figura 3**

*Gráfico tiempo de gel y el tiempo de polimerización de la resina*



Fuente: Libro Materiales de Ingeniería (Ariza, 2012)

El conformado del material compuesto debe hacerse durante el tiempo de gel, cuando la resina es un poco más viscosa pero todavía moja bien a las fibras. A partir del punto de gel comienza el endurecimiento, debiendo mantenerse la forma del material compuesto durante todo el tiempo de reactividad, hasta que la polimerización con el estireno se ha completado. (Ariza, 2012)

### **2.2.7. Sistemas de curado**

El más común del sistema de curación a temperatura ambiente es el peróxido de metil etil cetona (MEKP) y naftenato de cobalto. Una fórmula típica sería añadir de 0,2 a 0,4 % naftenato de cobalto a la resina, o para comprar la resina con este aditivo ya en ella, y agrega que entre el 2% MEKP (9% activo). El naftenato de cobalto que se conoce como promotor, el MEKP se conoce como catalizador. Otros aditivos que se usan para acelerar, inhibir o modificar el proceso de curado. El acelerador más comúnmente utilizado es dimetilanilina. Otro tipo de anilina, compuestos incluyen anilina dietílico y paratoluidina de dimetilo.

Una alternativa más utilizada en los sistemas de curación para el cobalto/MEKP es el uso de peróxido de benzoilo (BPO) y dimetilanilina. Estos sistemas funcionan de manera similar a los utilizados con MEKP, pero BPO tiene la desventaja de ser un polvo, lo que hace más difícil de incorporar, a pesar de que BPO pueda usarse en pasta. En algunas aplicaciones BPO puede dar más rápidamente cura, y las piezas fabricadas pueden tener una resistencia química mejorada. (Navarro Muedra, 2013)

### **2.2.8. Análisis comparativo entre mármol natural y sintético**

La denominación mármol en un estricto sentido geológico y petrográfico queda limitada a las rocas calizas que han sido completamente recristalizadas a causa de un proceso de metamorfismo. El aumento de presión y temperatura

característico de estos procesos produce una reorganización del carbonato cálcico en cristales de calcita de tamaño uniforme. De este modo podemos concluir que un mármol debe tener una estructura granular, con granos visibles a simple vista.

Esta definición de mármol resulta muy restrictiva a nivel comercial y, actualmente se ha extendido la denominación de mármol a todas las piedras calizas con estructura semicristalina o compacta, que sean susceptibles de adquirir brillo mediante pulimento, e incluso a algunas rocas de origen eruptivo con aspecto semejante al mármol como son los mármoles verdes, serpentinas que son silicatos cálcico-magnésicos hidratados procedentes de la metamorfosis del olivino y los mármoles oficálcicos, fragmentos de serpentina con cemento calizo.

La composición más normal del mármol será por encima del 90 % carbonato cálcico, según la pureza del material, y en el caso de los dolomíticos la mitad del carbonato total se encuentra como carbonato magnésico. Los minerales accesorios más importantes son los siguientes: sílice libre o combinada en silicatos con alúmina, óxidos de hierro en forma de hematites o limonita, óxidos de manganeso y pirita.

Las diferentes impurezas influyen en las condiciones de durabilidad y resistencia del mármol y le confieren determinada coloración que puede ser uniforme y homogénea, veteadas o formando dibujos más o menos abigarrados. Los mármoles blancos no tienen casi impurezas y son más raros.

Los amarillos contienen limonita que se incorporó junto con la arcilla al proceso de precipitación química original y son bastante resistentes químicamente. Los rojos contienen hematites roja y con trazas de sustancia carbonosa adquieren tonalidad marrón, siendo en ambos casos muy estables. La materia orgánica y el contenido de manganeso llevan a coloraciones grises y en mármoles muy modernos en los que la carbonización de la materia orgánica no se ha completado se producen las coloraciones cremas. (Trigueros Valladares, 2006)

Usualmente el mármol se utiliza en muchos casos de manera genérica para denominar una piedra natural, con determinada textura a la vista y capaz de recibir un gran pulimento, aunque en su composición el componente predominante no sea la calcita y en algunos casos incluso, esté está completamente inexistente. Es frecuente que se considere también como mármoles a rocas con cantidades relativamente altas de dolomitas, esta dolomita puede colorear el mármol de verde haciéndolo muy vistoso, pero al mismo tiempo reduce su calidad estructural y complica un tanto el montaje.

También existen otras piedras no compactas de base cálcica que se expenden como sustitutos del mármol real para su uso en el recubrimiento de pisos, el precio de estas piedras naturales es menor, pero una vez instaladas dan al piso la apariencia del verdadero mármol. Estas piedras, conocidas frecuentemente como "Travertinos", en forma natural presentan en su masa oquedades o poros que pueden llegar a ser grandes, y solo se usan como

recubrimiento de pisos en el exterior, cortadas como losas de relativo gran espesor. Para su uso en el interior, se someten a un proceso de rellenado de los poros por una de sus caras, la que luego se pule para ser usada como superficie exterior durante el montaje. Los travertinos luego de instalados en el piso se recubren con una capa de alguna resina transparente y resistente que le da brillo y sensación de mármol real pulido. El mármol adquirió su valor como elemento decorativo de lujo desde tiempos inmemoriales, debido a su belleza, capacidad de adquirir pulimento y facilidad relativa de labrado, ventajas evidentes para la época. El mármol está formado de un roca relativamente blanda y frágil, rayable incluso con el cobre y además atacable por muchos componentes químicos, incluyendo los ácidos tan débiles como el jugo de limón o el vinagre y hasta algunas bebidas gaseosas o el orine, por lo que en realidad su durabilidad y campo de aplicación es limitado y en ocasiones se usa en aplicaciones inadecuadas, solo pensando en su belleza y reputación histórica. (Sabelotodo.org, 2013)

También en el mercado un mármol llamado mármol sintético capaz de imitar y superar las mejores cualidades y propiedades del mármol. El mármol sintético es un material fuerte, compacto y no poroso que facilita su limpieza, es flexible tomando la forma de su imaginación es decir se adapta al molde deseado. Este producto es elaborado, por la unión de granos sintéticos con minerales tales como: cascara de huevo ( $\text{CaCO}_3$ ), alúmina y resinas de poliéster que crean una estructura lisa muy semejante a las piedras naturales. La cubierta

es totalmente fuerte a las manchas, rayones, huellas. Los patrones con contraste de vetas ofrecen un atractivo aspecto de granito. El acabado estándar del mármol sintético es mate, es decir, un acabado liso y con poco brillo. Con este tipo de material estamos en la posibilidad de realizar todo tipo de diseño ya que se trabaja fácilmente y permite hacer formas complejas, satisfaciendo armoniosamente las exigencias del mercado; es muy duradero pues resiste las agresiones del uso cotidiano, los cortes, y las abolladuras pueden repararse cómodamente y de forma imperceptible.

Es una buena opción para los arquitectos y diseñadores ya que trabajarían con facilidad y les permitiría hacer formas más complejas. (Cotto Rivera & Alvarado San Andres, 2005)

### **2.2.9. Propiedades Del Mármol Sintético (Superficie Sólida)**

Una de las propiedades es que la superficie sólida, es un material duro pero maleable con el cual se puede lograr cubiertas de muebles, etc.

Además, puede combinarse con variedad de materiales como acero inoxidable, azulejos, granito. etc. Con diseños sin límites.

Es resistente a los agentes químicos, no es poroso, por lo que los residuos de comida o manchas pueden limpiarse con facilidad.

Es macizo, resistente a golpes y a cualquier forma de maltrato, toda mancha, grieta, pueden ser reparados, en la superficie no se debe picar o cortar, para eso use una tabla, las uniones entre planchas o tarjas, se realizan con

pegamentos de la misma composición de la plancha así se logra homogeneidad, por lo que no importa de qué tamaño sea la cubierta.

La limpieza debe realizarse con agua y jabón convencional o un paño húmedo.

Es resistente a altas temperaturas, de hasta 200° C. la mancha de cigarrillo, puede ser limpiada con un limpiador abrasivo.

La cubierta puede ser pulida cada año de acuerdo al uso que tenga o si desea tenerlo como cuando fue instalado. (Posada Piedrahita, Herrera, Trujillo Camacho, López Gómez, & Pérez Pérez, 2012)

### **2.3. Marco conceptual**

El mármol sintético es un material con propiedades similares al mármol natural, para producirlo es necesario recurrir a la parte experimental con el método de ensayo y error, siendo sus principales materias primas la resina y el carbonato de calcio, siendo esta última la carga inerte que afecta significativamente las propiedades mecánicas del producto terminado.

Hay diferentes tipos de resinas, siendo la más económica la resina poliéster, que se usa para realizar diferentes tipos de decoraciones, para su reacción de polimerización es necesario un acelerante y un catalizador, produciendo el endurecimiento de la resina poliéster.

El carbonato de calcio se encuentra en la naturaleza en diferentes formas, siendo su procedencia en la cáscara de huevo una de las más requeridas en la actualidad, ya que contiene más del 90% de esta sal mineral.

El proceso de elaboración del mármol sintético siempre es afectado por la velocidad del mezclador, tiempo de mezclado, granulometría de la carga, ya que se producen burbujas de aire o mezclas heterogéneas sino se controlan estos parámetros.

#### **2.4. Definición de términos básicos**

**Alúmina:** Oxido Aluminico natural ( $Al_2O_3$ ), es un polvo blanco es insoluble en agua, difícilmente soluble en ácidos minerales y álcalis fuertes no combustible, no tóxico, y se la utiliza como relleno en la plancha de mármol sintético, al mezclarse con la resina no se opaca, sino que más bien es translúcida. (Cotto Rivera & Alvarado San Andres, 2005)

**Carbonato de calcio:** Compuesto químico, de fórmula  $CaCO_3$ . Es una sustancia muy abundante en la naturaleza, formando rocas, como componente principal, en todas partes del mundo y es el principal componente de conchas y esqueletos de muchos organismos (p.ej. moluscos, corales) o de las cáscaras de huevo. Es la causa principal del agua dura. (EcuRed, s.f.)

**Carga:** Las cargas son principalmente sólidos o materiales fibrosos, químicamente inertes, que se incorporan en las composiciones plásticas para modificar las propiedades o reducir el costo. (Xanthos, 2005)

**Cáscara de huevo:** La cáscara de huevo es una capa delgada mineral (aproximadamente de 350 micras de espesor) que protege el contenido del huevo contra impactos mecánicos, deshidratación y la contaminación por microorganismos. Esta capa está perforada por numerosos poros que permiten el intercambio de gases necesarios para la respiración del embrión. También suministra el calcio necesario para el desarrollo del esqueleto. (Rodríguez Navarro, 2019)

**Cobalto(accelerante):** Es un metal blanco, dúctil y maleable, elemento que se presenta en forma natural en la corteza terrestre. Es una parte muy pequeña de nuestro medio ambiente y muchos animales y los humanos lo necesitan en cantidades muy pequeñas para estar saludables. Es inalterable en la atmósfera a temperaturas ordinarias. Normalmente se encuentra junto con níquel, y ambos suelen formar parte de los meteoritos de hierro. Es un elemento químico esencial para los mamíferos en pequeñas cantidades. (EcuRed, s.f.)

**Desechos orgánicos:** Los residuos o desechos orgánicos son aquellos materiales que provienen de un ser vivo, es decir, que se generaron gracias a una planta, un animal o un alimento. Estos residuos los producimos nosotros, las empresas, comercios e industrias durante nuestras actividades de alimentación, limpieza, mantenimiento, trabajo y entretenimiento. Clasificar la

basura para reutilizar los residuos orgánicos es una tarea útil y buena para la conservación de nuestro planeta. Los desechos orgánicos pueden utilizarse como abono, alimento para animales y para la generación de energía. (Fundación Xochitla, 2019)

**Estireno:** Líquido incoloro de aroma dulce que se evapora fácilmente, compuesto orgánico de forma molecular  $C_8H_8$ , constituido por un anillo de benceno con un sustituyente etileno. Se conoce también como vinil benceno, etenilbenceno, cinameno y feniletileno. Muy importante para la producción del poliestireno. (EcuRed, s.f.)

**Mármol:** Es una roca metamórfica compacta formada a partir de rocas calizas que, sometidas a elevadas temperaturas y presiones, alcanzan un alto grado de cristalización. El componente básico del mármol es el carbonato cálcico, - cuyo contenido supera el 90%; los demás componentes, considerados "impurezas", son los que dan gran variedad de colores en los mármoles y definen sus características física, se utiliza principalmente en la construcción, decoración y escultura. (Guillen e hijos S.L., 2013)

**MEKP (catalizador):** De las siglas en inglés Methyl Ethyl Ketone Peroxide o peróxido de metiletilcetona, es un catalizador líquido aceitoso incoloro con una composición especialmente formulada para polimerizar (curar) a temperatura

ambiente las resinas de poliéster insaturadas. Al usar MEKP con la mayoría de las resinas y gelcoats, este ofrece mejores tiempos de gel e igual o mayor tiempo de curado del gel. Nunca debe ponerse en contacto con el Cobalto, ya que genera una exotérmica (desprendimiento de calor) con riesgo de incendio. (PuntoPlas, s.f.)

**Microdureza Knoop:** Es un ensayo de dureza óptico y también es conocido como ensayo de Microdureza. Consiste en aplicar fuerzas o cargas sobre una superficie, haciendo uso de un indentador (penetrador). Donde las cargas que se aplican se encuentran en el rango de 1gf a 1kgf, por ello también se le conoce como un ensayo de Microdureza. (Angel, 2021)

**Resina poliéster:** La resina es un material plástico creado en 1933, derivado del petróleo. Es un material de múltiples aplicaciones y usos, muy resistente y versátil. En estado bruto, la resina, es un líquido de consistencia viscosa translúcida o transparente, dependiendo su color del tipo de resina. Endurece o gelifica al sumarle dos componentes, catalizador y acelerador, comenzando a reaccionar químicamente. Desarrolla calor, pasando de estado viscoso a gelatinoso, para posteriormente endurecerse en forma irreversible. Este proceso se llama polimerización: reacción por la cual pequeñas moléculas que están en un cuerpo se unen y forman moléculas gigantes, conformando la materia. (De Bueno, y otros)

**Resistencia:** Proviene del latín Resistentia, del verbo Resistere que significa mantenerse firme o resistir. Es un término que se aplica a la capacidad física que tiene un cuerpo de aguantar una fuerza de oposición por un tiempo determinado, sea esta fuerza cualquier agente externo al cuerpo que intente impedir la finalización de esta labor. Cabe destacar que esta palabra a recibido varias connotaciones en diversas áreas como la física, la ingeniería, la psicología, la medicina y la geografía. (Redacción, 2021)

### **III. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.1. Hipótesis general:**

La elaboración de mármol sintético a partir de la cáscara de huevo se realiza con el método de ensayo y error experimental dando como resultado un producto con excelentes propiedades físico - mecánicas.

##### **3.1.2. Hipótesis específicas:**

- a) La cantidad de carbonato de calcio que presentó la cáscara de huevo fue de 93% - 95% y de 5% -7% de otros componentes.
- b) Las variables del proceso son: velocidad del mezclador, tiempo de mezclado y formulación de la mezcla.
- c) La composición adecuada del mármol sintético se encuentra en un intervalo del 20% al 50% de cáscara de huevo en peso.

#### **3.2. Definición conceptual de las variables**

$X_1$  = Velocidad del mezclador

Es la fuerza de la hélice del mezclador que permite agitar a la mezcla hacia las paredes y el fondo del mezclador.

$X_2$  = Tiempo de mezclado:

Es el tiempo en el que logra homogeneizar el flujo de entrada con el que se encuentra en el interior del tanque mezclador gracias a la velocidad de impulso de la hélice del mezclador.

$X_3$  = Formulación de la mezcla:

Son las proporciones y condiciones adecuadas de la materia prima para realizar el proceso de mezclado para que resulte un mármol sintético de calidad.

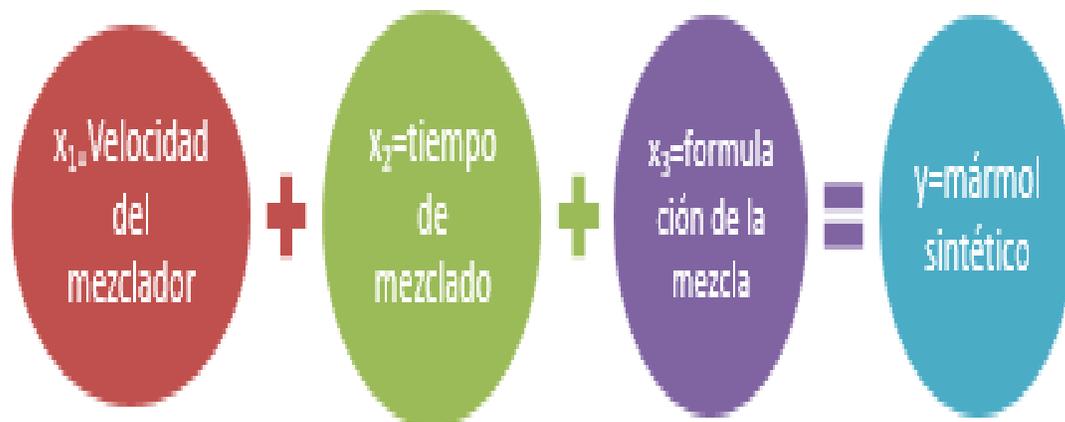
$Y$  = Mármol Sintético producido de acuerdo a la resistencia y dureza:

Es una mezcla de resinas de poliéster y cascara de huevo que tras un proceso químico/ industrial endurece a un grado similar al mármol natural.

$$Y = F(X_1, X_2, X_3)$$

**Figura 4**

*Relación de variables*



### 3.2.1. Operacionalización de las variables

**Tabla 6**

*Dimensiones e indicadores de las variables*

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Método</b>
<b>Independientes</b>			
X1: Velocidad del impulsor	Revoluciones de rotación	RPM	Experimental
X2: Tiempo de mezclado	Tiempo	Minutos	Experimental
X3: Formulación de la mezcla	Formulación	% peso (g)	Experimental
<b>Dependiente</b>			
Y: Mármol Sintético	Características físico químicas	Microdureza Knoop (Kg/mm <sup>2</sup> ) Absorción de agua (% peso) Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Experimental

## IV. DISEÑO METODOLÓGICO

### 4.1. Tipo y diseño de investigación

Nuestra tesis es del tipo aplicada - cuantitativa ya que nuestros resultados van a servir para ser aplicadas en la práctica. Se realizó un diseño interpretativo - experimental mediante la observación, registro y análisis de las variables, siendo la variable más importante: la composición del mármol sintético; se midió las cantidades de cada experimento realizado (etapa de mezclado, secado y lijado).

### 4.2. Método de investigación

#### 1. Acondicionamiento y caracterización de la cáscara de huevo

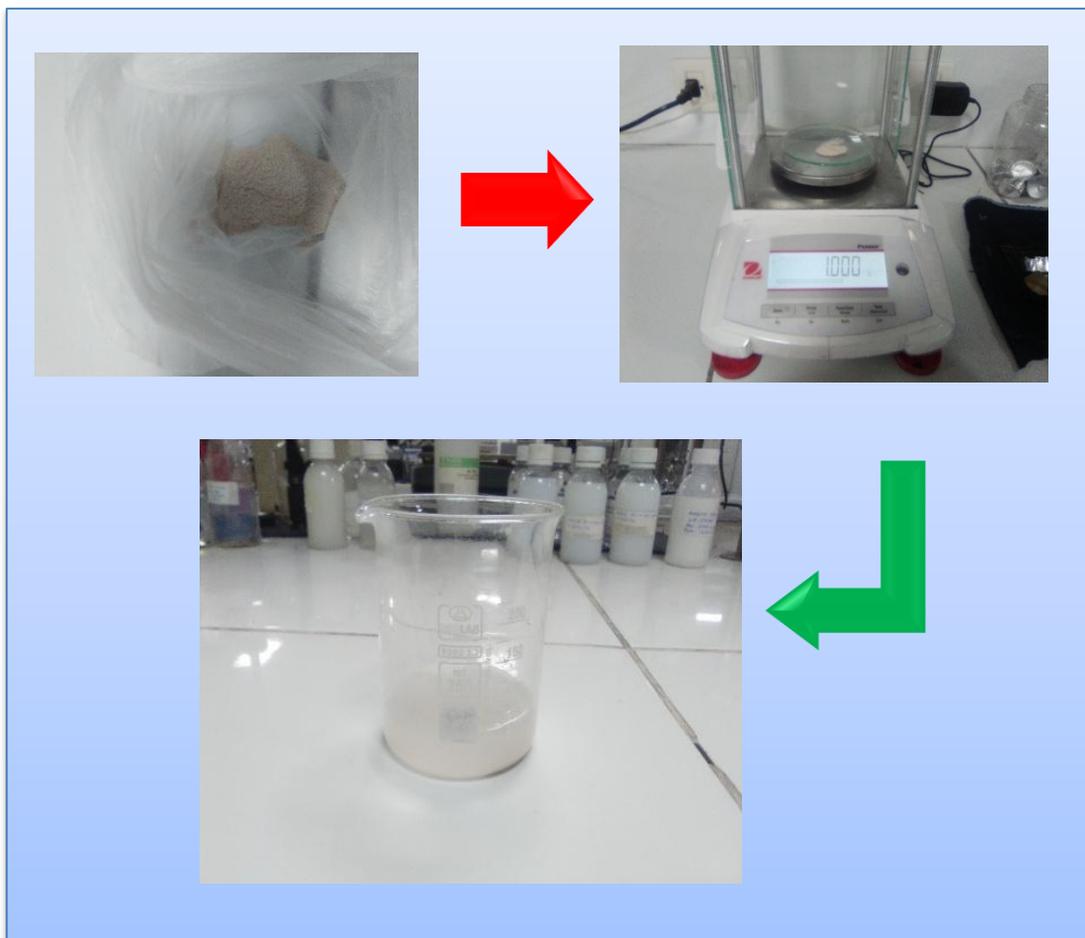
La cáscara de huevo recolectada es limpiada mediante un lavado con agua y un tensoactivo, y luego secada a temperatura ambiente durante un día entero. Luego se toma una muestra para calcular la cantidad de carbonato de calcio mediante el análisis cuantitativo con ácido clorhídrico (HCl).

Los ensayos experimentales se realizaron en un laboratorio externo a la temperatura de 17°C:

***Primero se procedió a pesar la cascara de huevo en polvo y luego se vació en un vaso precipitado, se agregó agua destilada y se agito con la bagueta.***

**Figura 5**

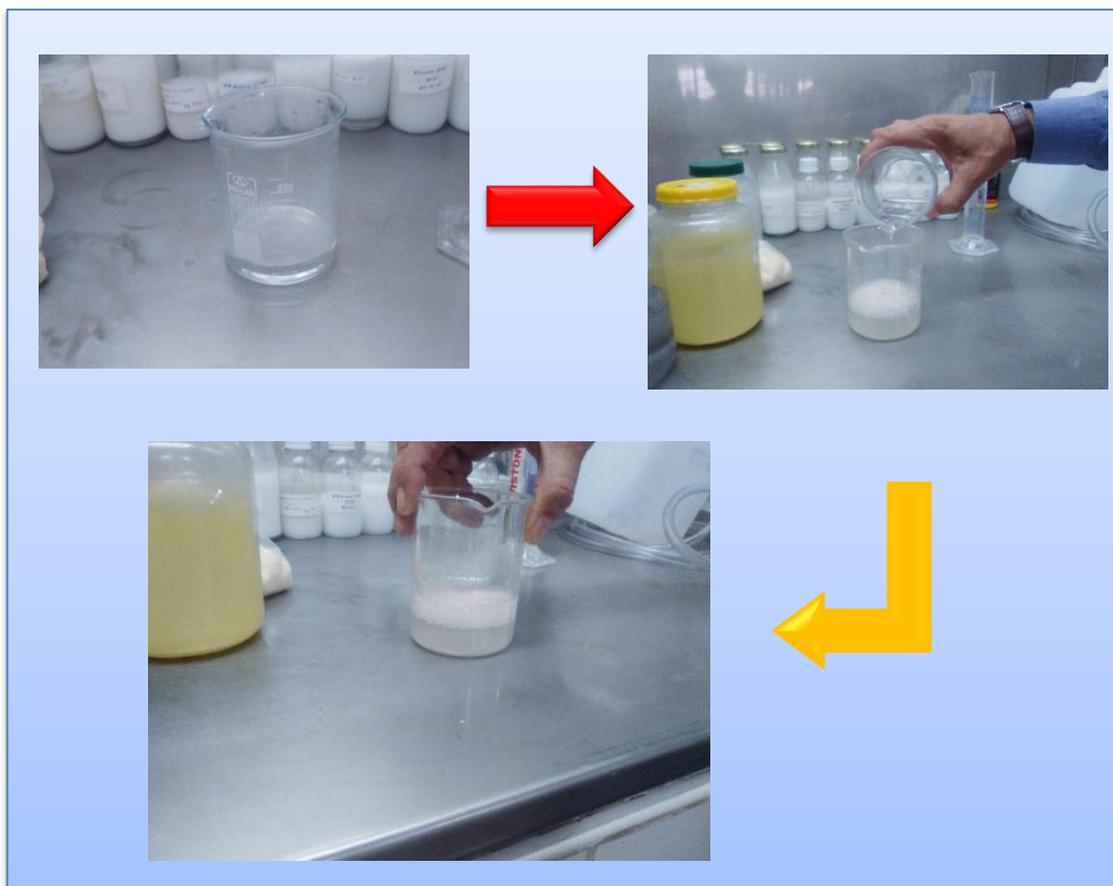
*Pesado de la cáscara de huevo y mezclado con agua destilada*



***Se procedió a preparar el HCl (1:1) y se adiciono al vaso precipitado que contiene la cascara de huevo en polvo con agua destilada, se agito con una bagueta de vidrio y se dejó reposar 5 minutos para proceder al filtrado.***

**Figura 6**

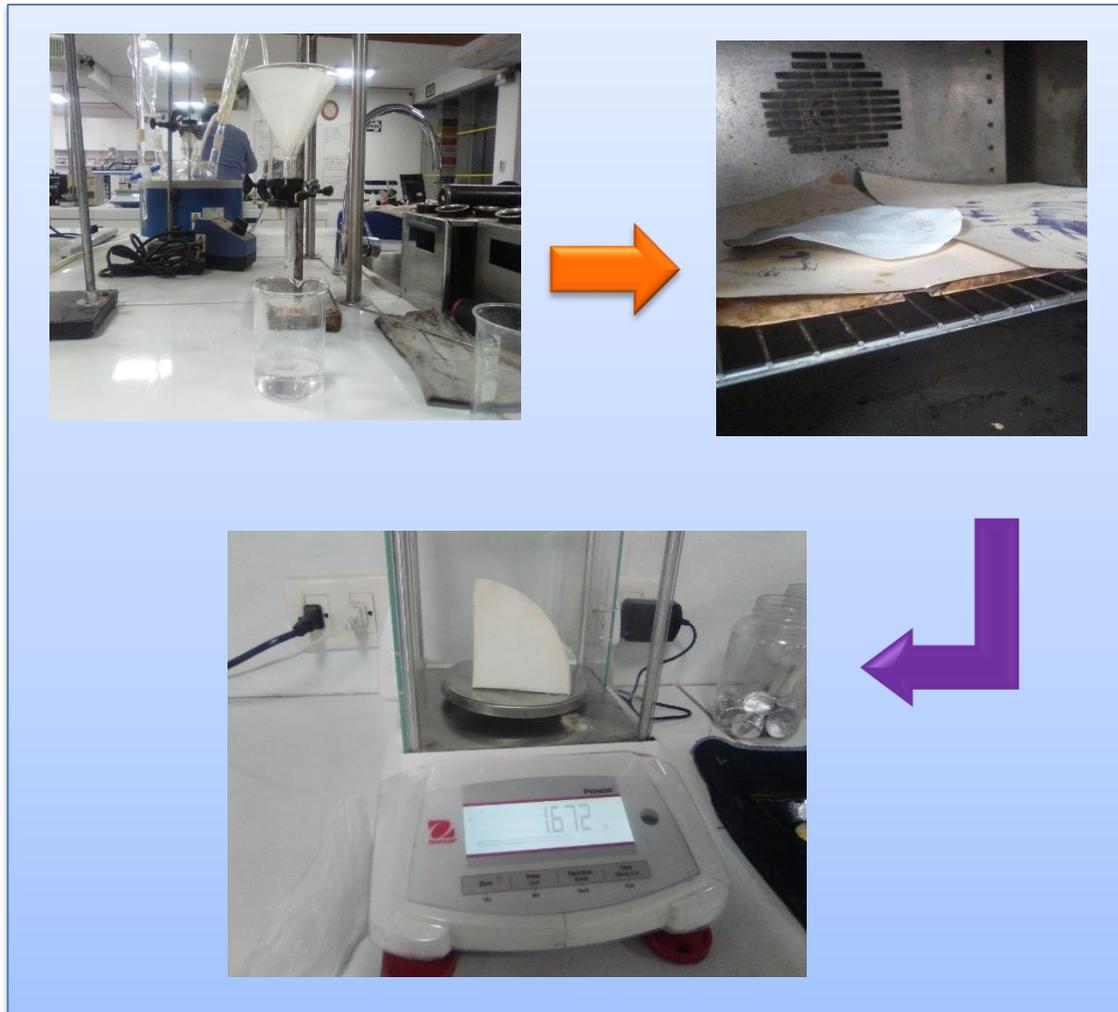
*Mezclado del HCl(1:1) con la solución de cáscara de huevo*



***Luego se procedió al filtrado de la solución resultante de la mezcla de HCL y la solución que contiene la cascara de huevo, se retiró el papel del filtro y se llevó a la estufa para su secado a 80 °C por 5 minutos y finalmente se retiró el papel de filtro de la estufa y se procedió a pesar.***

**Figura 7**

*Determinación de la cantidad de carbonato de calcio*



Después de tres pruebas experimentales se determinó que la cantidad de  $\text{CaCO}_3$  presente en la muestra de cáscara de huevo utilizado en este trabajo de investigación es de 93.53% en promedio.

## 2. Procedimiento experimental para la elaboración del mármol sintético

### *Molienda de la cascara de huevo:*

- Pesamos cierta cantidad de cascara de huevo.
- Luego pasamos a realizar el proceso de molienda.
- Finalmente realizamos el tamizado en una malla 80, obteniendo un peso en gramos.

### Figura 8

#### *Molienda la cáscara de huevo*



***Procedemos a medir y pesar toda la materia prima:***

**Figura 9**

*Medición y pesado de las materias primas*



***Vertemos la resina poliéster en el mezclador, adicionamos el acelerante es decir el cobalto y se le proporciona una pequeña agitación para que se disuelva.***

**Figura 10**

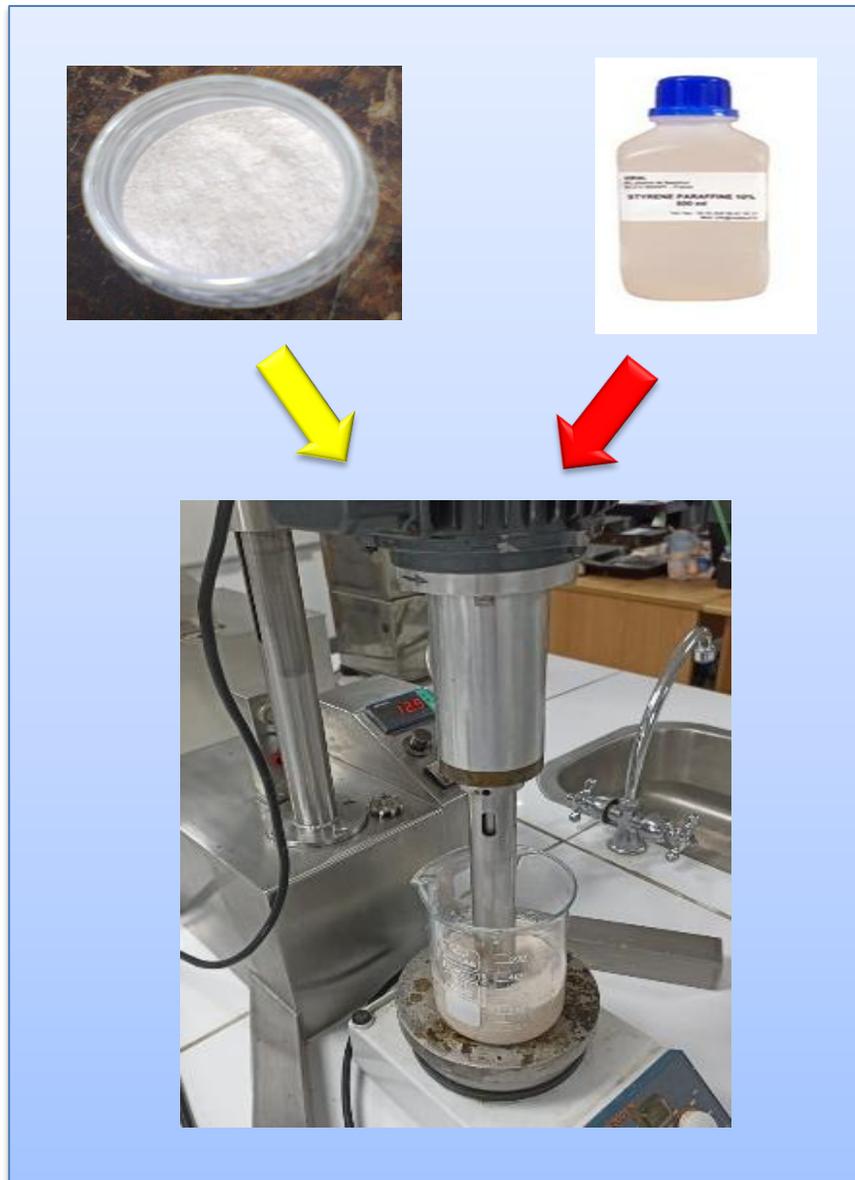
*Mezclado de la resina y el acelerante*



***Luego añadir la cascara de huevo molido, y el estireno con el objetivo de aminorar la pastosidad de la mezcla. El tiempo de mezclado y la velocidad del impulsor fue 30 minutos y 80 rpm respectivamente (ver anexo 2).***

**Figura 11**

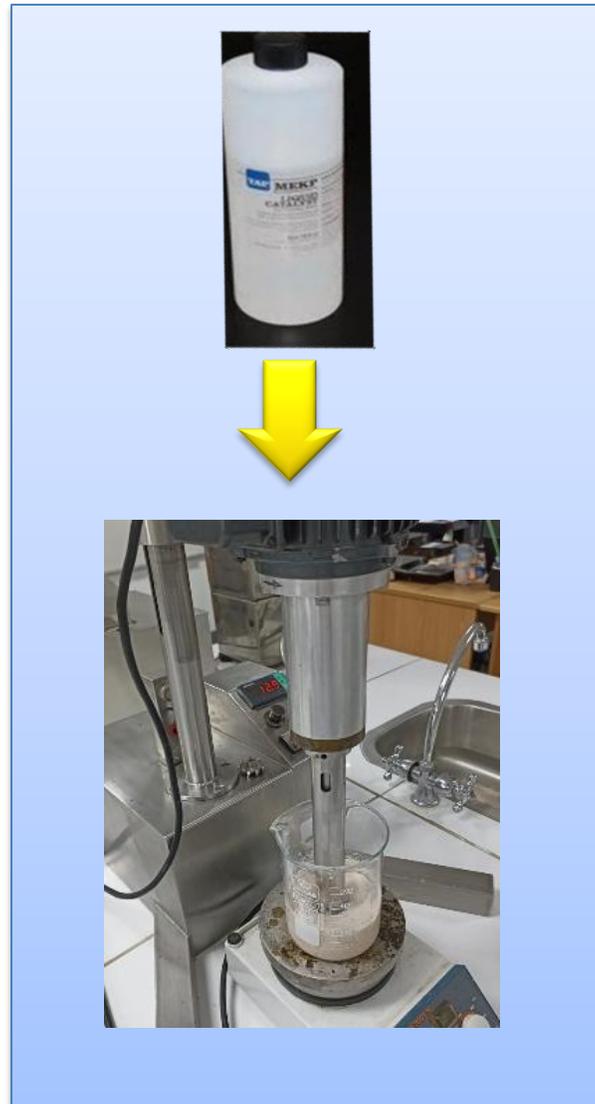
*Vertido de la cáscara de huevo y estireno*



***Luego de 30 min. de mezclado antes de trasladar la mezcla al molde le adicionamos el MEKP, para producir el endurecimiento de la resina y mezclamos 3 minutos.***

**Figura 12**

*Mezclado con el MEKP*

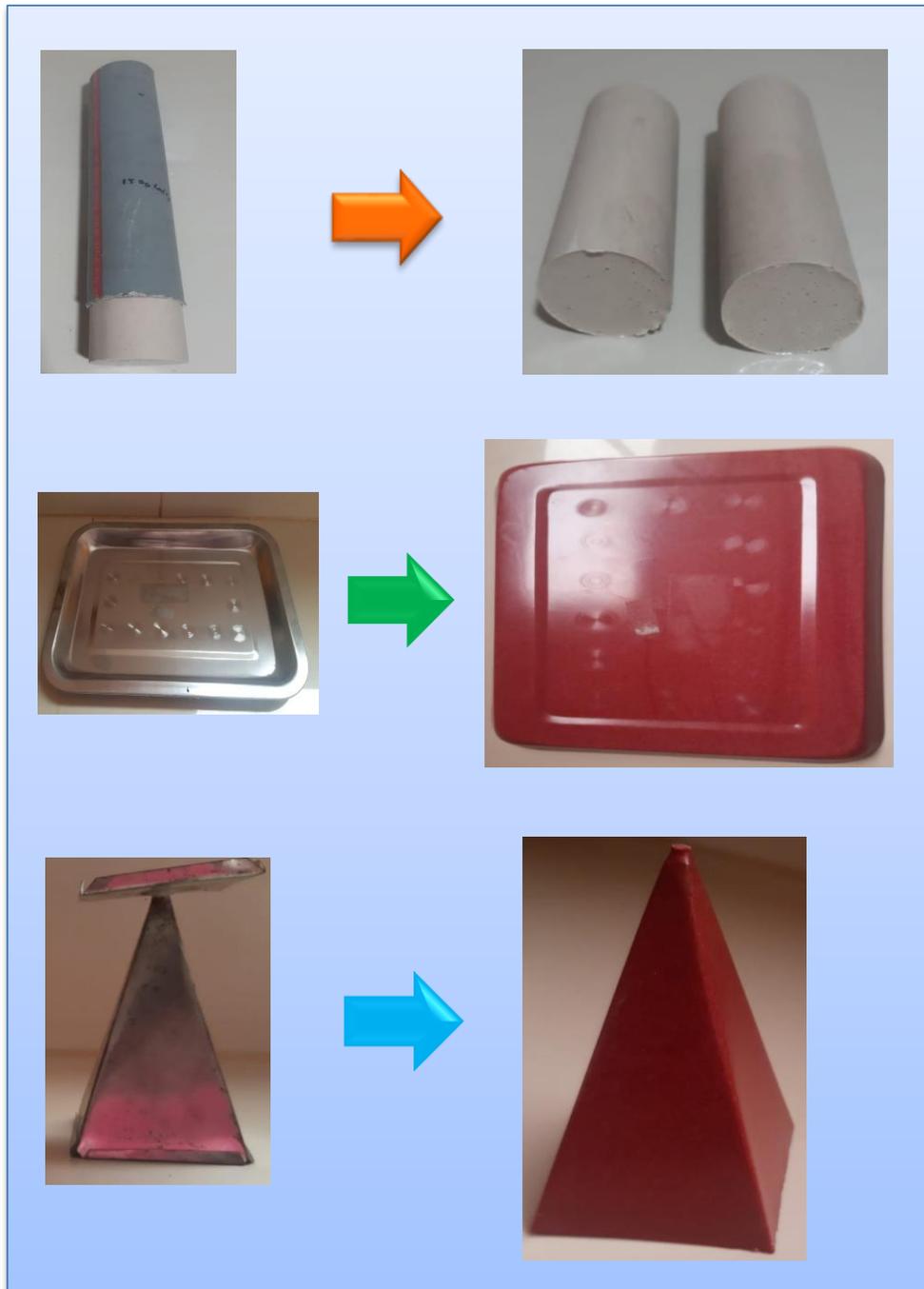


***Finalmente procedemos a vaciar la mezcla en los moldes y dejamos que ocurra el proceso de secado durante 12 horas.***

***Al terminar el proceso de secado se procedió a sacar de los moldes el producto obtenido para ser lijado y pulido.***

**Figura 13**

*Desmoldado de probetas*

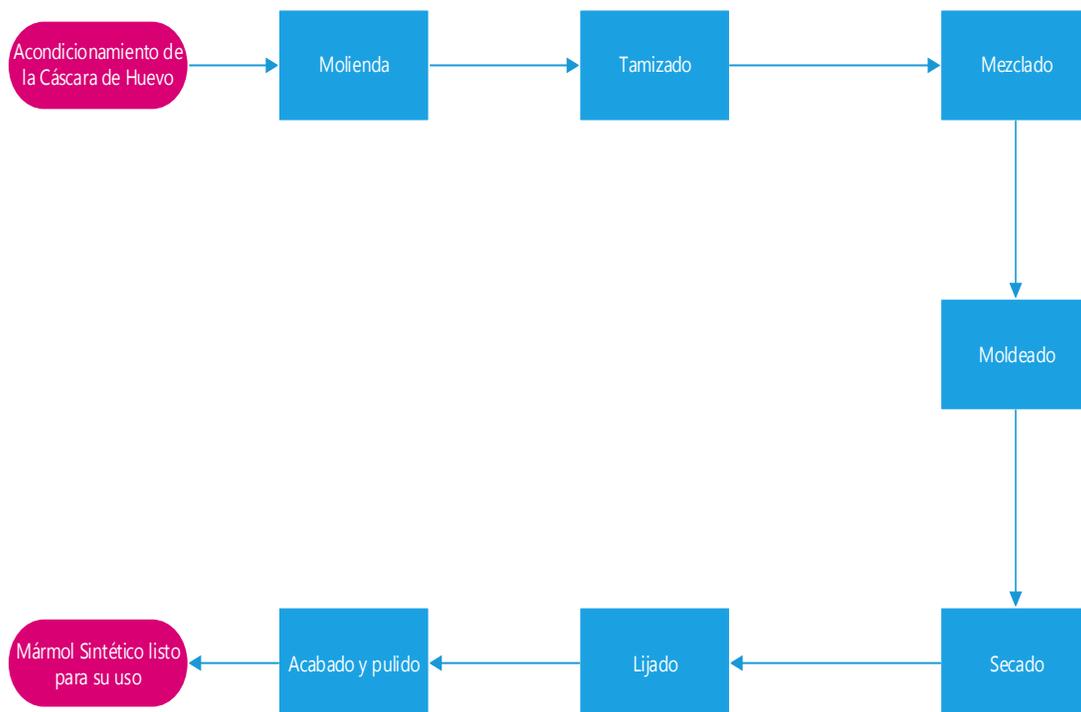


### Determinación de la formulación final del mármol sintético

De acuerdo a la data estadística de los experimentos se determina la formulación final, en conjunto con los análisis de resistencia y dureza que se mandó a realizar a laboratorios externos.

**Figura 14**

*Diagrama de flujo de la elaboración del mármol sintético*



### **4.3. Población y muestra**

#### **Muestra**

Las cáscaras de huevo se obtuvieron de las pastelerías del distrito de Comas – departamento de Lima, donde diariamente se recolectó 3 kilogramos. Se usó 10 kilogramos como muestra para tres pruebas experimentales, se realizaron 6 ensayos para obtener la composición adecuada del mármol sintético.

### **4.4. Lugar de estudio y período desarrollado**

Se obtiene las cáscaras de huevo de las pastelerías del distrito de Comas – departamento de Lima de una semana de producción, se trabajó en un laboratorio externo. El periodo de desarrollo de nuestro trabajo de investigación fue en el año 2021.

### **4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información**

#### **Métodos y técnicas:**

- Determinación de la cantidad de carbonato de calcio en la cáscara de huevo: análisis cuantitativo con ácido clorhídrico (HCl).
- Determinación de composición del mármol sintético: experimentos tipo ensayo - error.
- Análisis y procesamiento de datos: análisis de varianza ANOVA.
- Determinación de la resistencia a la compresión: según norma ASTM C170/C170M – 17.

- Absorción de agua según norma ASTM C97/C97M – 18.
- Microdureza Knoop según norma ASTM E384.

Se detallan en las siguientes tablas los materiales, instrumentos y equipos respectivamente:

**Tabla 7**

*Materiales usados en la experimentación*

Materiales	Marca
Cáscaras de huevos (Kg)	Propia
Resina de poliéster T596 - 65(g)	AOC
Cobalto (acelerante) (gotas)	Mathiesen
Estireno (ml)	Anypsa
MEKP (secante) (gotas)	Glucom
Malla de nylon 60	Maccinox
Moldes	Propia
Tensoactivo	Opal

**Tabla 8**

*Instrumentos usados en la experimentación*

Instrumentos	Capacidad
Balanza digital	0 - 1 Kg (5g)
Termómetro digital	-50°C - 300° C
Cronómetro digital	0 – 10h

**Tabla 9**

*Equipos usados en la experimentación*

Equipos	Capacidad
Agitador mecánico	0 – 3 Kg (5g)
Molino manual	0 – 400 g / minuto (10)
Prensa hidráulica	0 - 2000 Kn

#### **4.6. Análisis y procesamiento de datos**

Para hacer una correlación adecuada entre los datos experimentales, se utilizó un análisis que se compone del análisis de varianza o ANOVA para determinar si existe diferencia significativa entre la variable dependiente y las variables independientes.

##### **Análisis ANOVA**

El análisis de varianza ANOVA es una de los métodos estadísticos más utilizados y más elaborados en la investigación moderna. Se utiliza para probar hipótesis referentes a las varianzas de una población. La prueba F permite determinar si las desviaciones estándar o las varianzas de 2 o más muestras se pueden considerar estadísticamente iguales o diferentes. Este análisis estadístico se realizó a través del Análisis Estadístico de ANOVA, provisto por el programa Minitab 19.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

#### Caracterización de la cáscara de huevo

Se realizó el análisis cuantitativo utilizando el HCl en solución para determinar el porcentaje de carbonato de calcio de las muestras, donde se obtuvo un promedio de 93.53% de carbonato de calcio en peso (Ver Tabla 10).

**Table 10**

*Resultados de la caracterización de la cáscara de huevo*

Ensayos	%CaCO <sub>3</sub>
Experimentales	
1	93.5
2	93.8
3	93.1

La cantidad de materia prima utilizada durante el experimento se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11***Cantidad de materias primas utilizadas en los experimentos*

Experimentos	Cascara de huevo (g)	Resina(g)	Acelerante (gotas)	Secante (gotas)	Monómero (ml)
1	30	70	8	24	1.5
	30	70	8	22	1.8
2	40	60	8	23	1.6
	40	60	8	21	1.4
3	50	50	8	20	1.3
	50	50		19	1.2

Los resultados de análisis de laboratorio se muestran en la tabla 12, con una velocidad del impulsor de 80 rpm y un tiempo de 30 minutos.

**Tabla 12***Resultados de análisis de laboratorio*

#E	Cascara de huevo (g)	Resina(g)	Microdureza Knoop (Kgf/mm <sup>2</sup> )	Resistencia la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Absorción de agua (% peso)
1	30	70	82.01	650.9	0.096
	30	70	82.21	651.7	0.094
2	40	60	84.92	588.1	0.092
	40	60	85.10	589.3	0.090
3	50	50	90.10	532.4	0.089
	50	50	90.22	530.2	0.087

Nota: #E= número de experimento

## 5.2. Resultados inferenciales

- a) Analizando la variable cantidad de cascara de huevo y microdureza, se plantea:

$H_0$ = la cantidad de cáscara de huevo no afecta la microdureza knoop

$H_1$ = la cantidad de cáscara de huevo afecta la microdureza knoop

El análisis estadístico de varianza ANOVA nos muestra que el valor  $p < 0.05$ , por lo tanto, la hipótesis ( $H_0$ ) se rechaza y se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ), esto demuestra que la cantidad de cáscara de huevo presente en el mármol sintético si afecta su microdureza knoop.

- b) Analizando la variable cantidad de cáscara de huevo y resistencia a la compresión se plantea:

$H_0$ = la cantidad de cáscara de huevo no afecta la resistencia a la compresión

$H_1$ = la cantidad de cáscara de huevo afecta la resistencia a la compresión

El análisis estadístico de varianza ANOVA muestra que el valor  $p < 0.05$ , por lo tanto, la hipótesis ( $H_0$ ) se rechaza y se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ), esto demuestra que la cantidad de cascara de huevo presente en el mármol sintético si afecta a su resistencia a la compresión.

- c) Analizando la variable cantidad de cáscara de huevo y absorción del agua se plantea:

$H_0$ = la cantidad de cáscara de huevo no afecta la absorción del agua

$H_1$ = la cantidad de cáscara de huevo afecta la absorción del agua

El análisis estadístico de varianza ANOVA muestra que el valor  $p < 0.05$ , por lo tanto, la hipótesis ( $H_0$ ) se rechaza y se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ), esto demuestra que la cantidad de cascara de huevo presente en el mármol sintético si afecta a su absorción de agua.

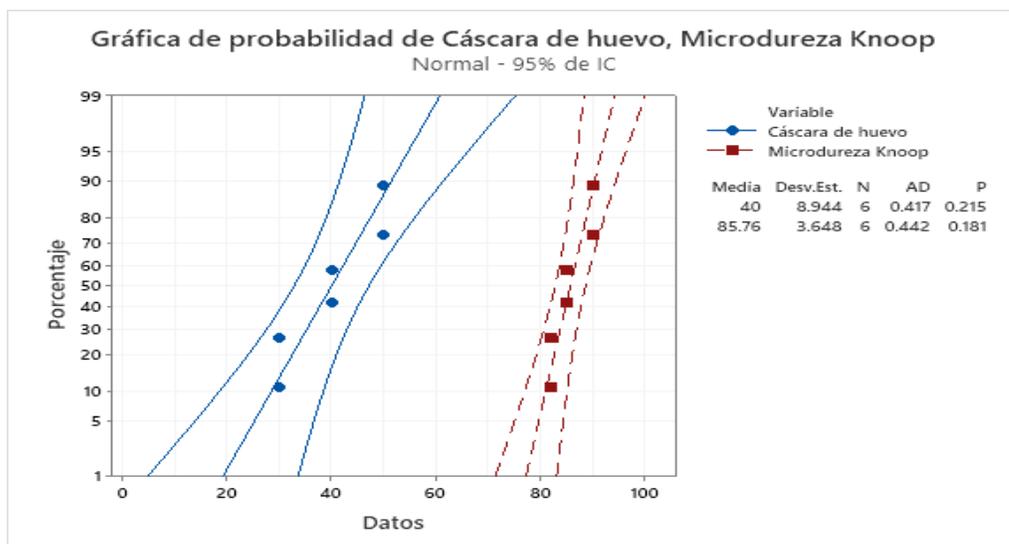
### 5.3. Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la Hipótesis.

#### 5.3.1. Análisis estadístico de la variable cantidad de cáscara de huevo y microdureza knoop:

- a. Análisis de normalidad: De la figura 19 se observa que  $p > 0.05$ , por lo tanto, los datos siguen una distribución normal.

### Figura 15

Gráfica de normalidad cáscara de huevo vs microdureza



b. Análisis de varianza:

**Tabla 13**

*Cáscara de huevo vs microdureza knoop*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Cáscara de huevo	2	66.4900	33.2450	2298.04	0.000
Error	3	0.0434	0.0145		
Total	5	66.5334			

**Tabla 14**

*Resumen del Modelo*

<b>S</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad. (ajustado)</b>	<b>R-cuad. (pred)</b>
0.120277	99.93%	99.89%	99.74%

Nota: El re - cuadrado es mayor al 40% por lo tanto es aceptable.

La ecuación de regresión es:

$$\text{Microdureza Knoop} = 69.66 + 0.4025 \text{ Cáscara de huevo}$$

### 5.3.2. Análisis estadístico de la variable cantidad de cáscara de huevo y resistencia a la compresión:

- a. Análisis de normalidad: De la figura 20 se observa que  $p > 0.05$ , por lo tanto, los datos siguen una distribución normal.

**Figura 16**

*Gráfica de normalidad - resistencia a la compresión*



b. Análisis de varianza:

**Tabla 15**

*Cáscara de huevo vs resistencia a la compresión*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Cáscara de huevo	2	14409.0	7204.51	6246.68	0.000
Error	3	3.5	1.15		
Total	5	14412.5			

**Tabla 16**

*Resumen del modelo*

<b>S</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad. (ajustado)</b>	<b>R-cuad. (pred)</b>
1.07393	99.98%	99.96%	99.90%

Nota: El re - cuadrado es mayor al 40% por lo tanto es aceptable.

La ecuación de regresión es:

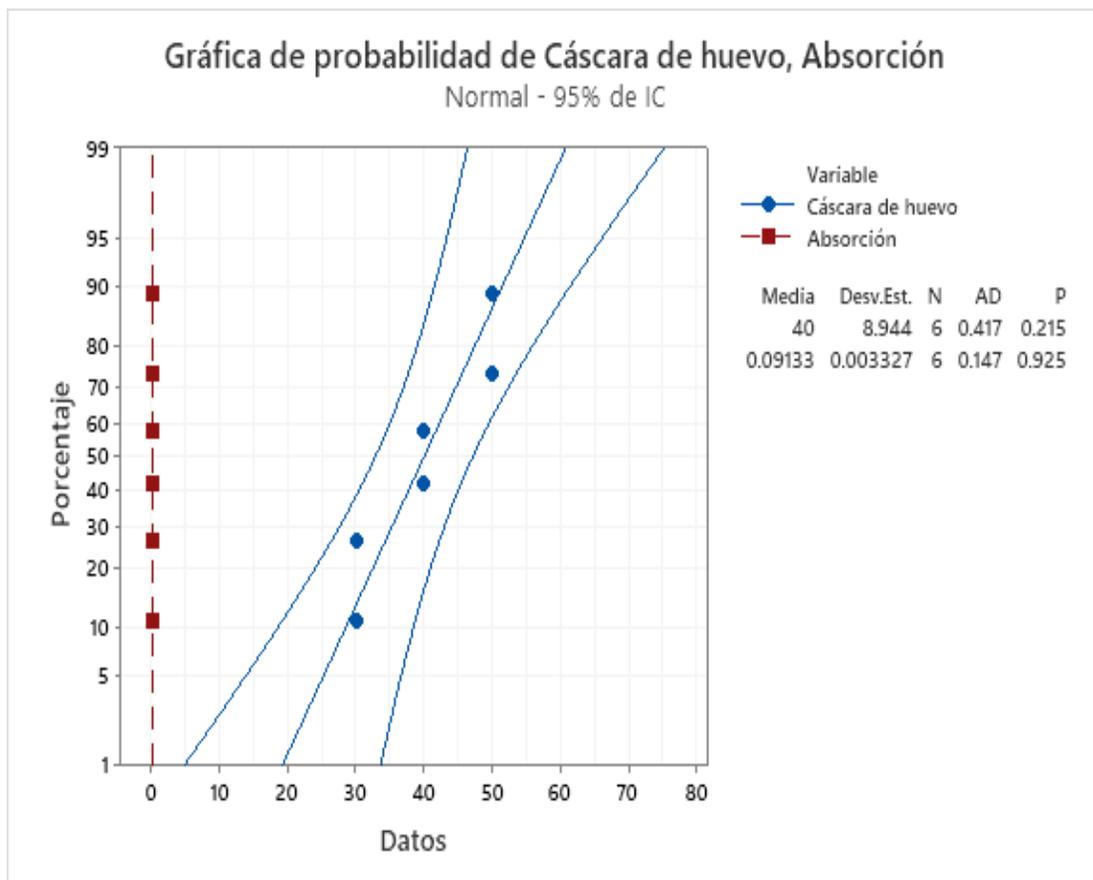
**Compresión = 830.4 - 6.000 Cáscara de huevo**

### 5.3.3. Análisis estadístico de la variable cantidad de cáscara de huevo y absorción al agua:

a. Análisis de normalidad: De la figura 21 se observa que  $p > 0.05$ , por lo tanto, los datos siguen una distribución normal.

**Figura 17**

*Gráfica de normalidad - absorción de agua*



b. Análisis de varianza:

**Tabla 17**

*Cáscara de huevo vs absorción de agua*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Cáscara de huevo	2	0.000049	0.000025	12.33	0.036
Error	3	0.000006	0.000002		
Total	5	0.000055			

**Tabla 18**

*Resumen del modelo*

<b>S</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad. (ajustado)</b>	<b>R-cuad. (pred)</b>
0.0014142	89.16%	81.93%	56.63%

Nota: El re - cuadrado es mayor al 40% por lo tanto es aceptable.

La ecuación de regresión es:

**Absorción = 0.1053 - 0.000350 Cáscara de huevo**

## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.**

#### **Hipótesis general:**

Se corrobora la hipótesis planteada al inicio, es decir, la elaboración de mármol sintético a partir de la cáscara de huevo se realizó con el método de ensayo y error experimental, dando como resultado un producto con excelentes propiedades de dureza, resistencia a la compresión y absorción al agua.

#### **Hipótesis específicas:**

- a) Se verifica que la cantidad de carbonato de calcio presente en las muestras de cáscara de huevo se encuentra en el intervalo de 93% - 95%, los datos se indican en la tabla 10.
  
- b) Se verificó que las variables del proceso de nuestro trabajo que afectan al mármol sintético producido son: tiempo de mezclado y velocidad del impulsor (Ver Anexo 2); y la formulación de la mezcla según el análisis Anova.
  
- c) Según los resultados realizados en un laboratorio externo con respecto a la dureza y resistencia a la compresión, la composición adecuada del mármol sintético es de 40% de cáscara de huevo y 60% de resina.

## **6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.**

En el trabajo de Cotto y Alvarado (2005), se determinó que con 40.98% de resina y 19.67% de carbonato de calcio se obtiene un producto óptimo para el mercado. En nuestro trabajo de investigación se ha obtenido que con un 40% en peso de cáscara de huevo y 60 % en peso de resina polyester se obtiene un mármol sintético con una resistencia a la compresión de 588.7 Kg/cm<sup>2</sup> en promedio.

En el trabajo de Santander (2012), se determinó una mezcla optima con el 30% de carbonato de calcio cuya tensión es de 120.68 Mpa, la tracción de 52.37 MPa, resistencia química al hipoclorito de sodio de 0.1813% en pérdida de peso y absorción de agua de 0.095 en 24 horas, en los resultados de nuestro trabajo de investigación obtenemos un valor de 0.091 en promedio de absorción de agua con un porcentaje de 40% cáscara de huevo en peso.

Asimismo, Posada et al. (2012) determinaron que contenidos de carbonato de calcio superiores al 15% produce un material completamente rígido, también que niveles superiores al 25 % de carbonato de calcio incrementan notoriamente la rigidez del material compuesto y por tanto se deteriora su resistencia al impacto. Los resultados de nuestro trabajo de investigación difieren con respecto al porcentaje de cáscara de huevo en peso, ya que su resistencia a la compresión es de 588.7 Kg/cm<sup>2</sup>, su absorción al agua es de 0.091% peso y su microdureza Knoop es de 85.01Kgf/mm<sup>2</sup>.

### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

Los autores nos responsabilizamos de la información emitida en el presente trabajo de investigación, cumpliendo lo señalada en el CODIGO DE ETICA DE INVESTIGACION DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO, Resolución N° 260-19-CU.

## VII. CONCLUSIONES

1. Con la experimentación por ensayo – error se determinó que para este tipo de investigación se necesita realizar varios ensayos para llegar a la composición adecuada del mármol sintético.
2. Con el análisis cuantitativo con HCl en solución, se determinó que la cantidad de carbonato de calcio presente en la cáscara de huevo es del 93.53% en peso.
3. Se realizaron 6 muestras experimentales previas para determinar el tiempo de mezclado que resultó de 30 minutos y una velocidad del impulsor de 80 rpm para mezclas homogéneas; y con el análisis de varianza Anova que la formulación de la mezcla afecta al mármol sintético producido.
4. De acuerdo a nuestros análisis de laboratorio se determinó que la mezcla con mejores propiedades mecánicas y físicas contiene la composición de 40% en peso de cáscara de huevo y 60% en peso de resina.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

1. Se propone realizar nuevas investigaciones con otros porcentajes con respecto a la cantidad de la cáscara de huevo, que podrían mejorar las propiedades mecánicas y físicas del mármol sintético.
2. Para obtener un mármol sintético con mejores resultados estéticos se sugiere añadir pigmentos minerales de diferentes colores.
3. En necesario realizar un análisis económico, para resaltar el impacto de los costos en la elaboración del mármol sintético.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adex, Asociación de Exportadores. (2019). *Adex*. Obtenido de <https://www.adexperu.org.pe/notadeprensa/exportacion-de-marmol-inicia-recuperacion/>
- Angel. (2021). *Recursos de ingeniería, matemática, física y química*. Recuperado el 21 de 04 de 2021, de <https://www.rimfyq.com/2021/04/ensayo-de-dureza-knoop.html>
- Ariza, M. J. (2012). Materiales Industriales. *Determinación del ciclo de curado de una resina, CITE II-A, 2.12, 1-3*. (D. d. Aplicada, Recopilador)
- Burga Jacobi, P. N. (2018). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales de cáscara de huevo como insumo para la elaboración de pintura látex de color*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Cotto Rivera, & Alvarado San Andres. (2005). *Mármol sintético y/o superficie sólida de resina poliéster con carbonato de calcio y alúmina*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- De Bueno, O., Gollob, A., Rodriguez, V., Rodriguez, S., Botindari, F., & Velásquez, M. (s.f.). *Resina Poliéster Acrílico*. Instituto Universitario Nacional Del Arte, Departamento de Artes Visuales Prilidiliano Pueyrredon. Otav escultura. Obtenido de <http://catedradebueno.blogspot.com/>

- De Leon González, M. (2015). *Fabricación de piedra artificial a partir de residuos*. Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife.
- Díaz Valdiviezo, A., Manrique Contreras, S., & Siancas Girón, L. (2020). SerieB: Geología Económica. *Compendio de rocas ornamentales en el Perú(70)*, 294. (Ingemmet, Ed.) Lima, Perú: Ingemmet. Recuperado el 20 de Enero de 2021
- EcuRed. (s.f.). *EcuRed*. Recuperado el 2 de Agosto de 2020, de [https://www.ecured.cu/Carbonato\\_de\\_calcio](https://www.ecured.cu/Carbonato_de_calcio)
- EcuRed. (s.f.). *EcuRed*. Recuperado el 2 de Agosto de 2020, de <https://www.ecured.cu/Estireno>
- EcuRed. (s.f.). *EcuRed*. Recuperado el 2 de Agosto de 2020, de <https://www.ecured.cu/Cobalto>
- Fundación Xochitla. (2019). *Xochitla*. Obtenido de <https://blog.xochitla.org.mx/2019/01/16/que-son-los-residuos-organicos/>
- Gómez Recinos, D. (2011). *Cuantificación de Calcio en soluciones caseras que contienen cáscara pulverizada de huevo de gallina (Gallus gallus)*. Tesis para optar título de Química Farmacéutica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado el 31 de Enero de 2021
- Guevara Alburqueque, L., & Castro Olaya, G. (2018). *Diseño de planta para la producción de carbonato de calcio a partir de la concha de abanico*. Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial y de Sistemas, Universidad de Piura, Piura.

Guillen e hijos S.L. (2013). *Guillen e hijos S.L.* Obtenido de <http://marmolesguillem.com/index.php/home/definicion-de-marmol-y-otros.html>

Hernández Ávila, J., Salinas Rodríguez, E., Blanco Piñon, A., Cerecedo Sáenz, E., & Rodríguez Lugo, V. (2014). Carbonato de Calcio en Mexico. En J. Hernández Ávila, E. Salinas Rodríguez, A. Blanco Piñon, E. Cerecedo Sáenz, & V. Rodríguez Lugo, *Carbonato de Calcio en Mexico* (págs. 12 - 19). Mexico: OmniaScience. Recuperado el 30 de Enero de 2021

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2009). *Consumo de alimentos y bebidas*. Lima. Recuperado el 2021, de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1028/cap01.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1028/cap01.pdf)

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2009). *Estado de la población humana 2009*. Lima. Recuperado el 2021, de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib0879/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0879/libro.pdf)

Masías, V. (2018). Millones de cáscaras de huevo desechadas se convertirán en sales de calcio. (A. Andina, Entrevistador) Lima. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-millones-cascaras-huevo-desechadas-se-convertiran-sales-calcio-714482.aspx>

- Navarro Muedra, A. (2013). *Influencia del ciclo de curado en las características a cizalladura de composites de lato gramaje con resinas vinil-uretano*. Tesis Master, Universitat Politècnica de València, Valencia.
- Ortiz, L. E. (2011). *Estudio del efecto de la modificación superficial de cargas nanométricas sobre las propiedades físico - mecánicas y estabilidad térmica de nanocompuestos de PVC entrecruzados*. Coahuila.
- Posada Piedrahita, J. A., Herrera, J. M., Trujillo Camacho, R., López Gómez, M. E., & Pérez Pérez, L. D. (2012). Evaluación del desempeño mecánico del mármol sintético basado en materiales compuestos de poliéster y carbonato de calcio. *Revista colombiana de materiales*. Recuperado el 2021, de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/materiales/article/view/11285>
- PQS, La voz de los emprendedores. (2020). *PQS*. Obtenido de <https://www.pqs.pe/actualidad/lima-concentra-el-43-de-panaderias-del-peru>
- PuntoPlas. (s.f.). *PuntoPlas*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2018, de [http://www.puntoplas.com/prototipo/materia\\_prima\\_detalle.php?matp=18](http://www.puntoplas.com/prototipo/materia_prima_detalle.php?matp=18).
- Redacción. (2021). *ConceptoDefinición*. Recuperado el 3 de Febrero de 2021, de <https://conceptodefinicion.de/mezcla/>
- Redacción. (2021). *ConceptoDefinición*. Recuperado el 3 de Febrero de 2021, de <https://conceptodefinicion.de/resistencia/>
- Revestimientos. (2 de Octubre de 2013). Obtenido de Web. site: <http://www.revestimientos.ws/marmol/marmol-sintetico.html>.

- Revista Economía. (2019). Pierinelli: Mercado de revestimientos de lujo crecerá 20% en provincias el 2020. *Revista Economía*. Obtenido de <https://www.revistaeconomia.com/pierinelli-mercado-de-revestimientos-de-lujo-crecera-20-en-provincias-el-2020/>
- Rios Orihuela, W. E., & Velasquez Vilca, M. (2016). *Obtención de carbonato de calcio a partir de las valvas residuales de caracol*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Químico, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Rodriguez Navarro, A. (2019). *AviNews américa latina*. Recuperado el 15 de Enero de 2021, de <https://avicultura.info/calidad-de-la-cascara-del-huevo/>
- Sabelotodo.org. (2013). Obtenido de <http://www.sabelotodo.org/x-bin/perlflect/search/search.pl?p=1&lang=es&include=&exclude=&penalty=0&q=construcci%F3n+marmol>
- Sanchez Bermudez, E. J., & Huanio Estrada, L. N. (2017). *Determinación de la granulometría óptima del carbonato de calcio obtenido de la cáscara de huevo para el mejoramiento de los suelos ácidos del Valle de Santa*. Universidad Nacional de Santa, Chimbote. Recuperado el 2021
- Santander Lopez, M. A. (2012). *Estudio de viabilidad en aplicación de poliéster diciclopentadiénico (dcpd) acondicionado con carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) para acabados interiores de viviendas de interés social*. Trabajo de grado para la optar el título de Ingeniero de Meteriales, Universidad del Valle, Santiago de Cali. Recuperado el 1 de agosto de 2020

- Trigueros Valladares, E. (2006). *Parámetros de viabilidad para la explotación de mármol y calizas marmóreas mediante métodos de explotación subterráneos*. Tesis para optar el grado de ing. de Minas, Universidad de Vigo, Vigo.
- Valdés, J. (2009). La cáscara de huevo :¿desecho o valor agregado para la salud humana y la producción. *Cubana Alimentación Nutricional*, 1, 102.
- Veritrade. (s.f.). Descripción comercial del mármol. *Perú - Exportaciones, Febrero del 2018 a febrero del 2021*. Obtenido de <https://www.veritradecorp.com/>
- Xanthos, M. (2005). *Functional Filler for Plastics*. Wileyvch.  
doi:10.1002/3527605096

## **ANEXOS**

Anexo 1: Matriz de Consistencia

Anexo 2: Determinación del tiempo de mezclado y velocidad del impulsor en la parte experimental

Anexo 3: Fotografías de las diferentes muestras para la determinación del tiempo de mezclado y velocidad del impulsor

Anexo 4: Análisis por compresión según Norma ASTM - C170

Anexo 5: Análisis de microdureza Knoop según norma UNE –EN 14205:2004

Anexo 6: Análisis de absorción de agua según norma ASTM C97

Anexo 7: Validación de equipos

Anexo 8: Comparación de propiedades físico – mecánicas de mármoles sintéticos

## Anexo 1: Matriz de consistencia

### "Elaboración de mármol sintético a partir de la cáscara de huevo"

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Método
¿Cómo elaborar mármol sintético a partir de la cáscara de huevo?	Elaborar un mármol sintético a partir de la cáscara de huevo.	La elaboración del mármol sintético a partir de la cáscara de huevo se realiza con el método de ensayo y error experimental.	Dependiente: Y = Mármol Sintético producido	Microdureza Absorción de agua Resistencia	Microdureza Knoop (Kgf/mm <sup>2</sup> ) Absorción de agua (% peso) Resistencia (kg/cm <sup>3</sup> )	Medición Experimental
<b>Específicos</b>	<b>Específicos</b>	<b>Específicos</b>				
¿Qué cantidad de carbonato de calcio contiene la cáscara de huevo?	Determinar la cantidad de carbonato de calcio en la cáscara de huevo.	La característica de la cáscara de huevo es de 93% - 95% de carbonato de calcio y de 5% - 7% de otros componentes orgánicos.	Independientes: X1=Velocidad del mezclador. X2=Tiempo de mezclado. X3=Formulación de la mezcla.	Velocidad del impulso  Tiempo  Formulación	RPM del eje Tiempo (min) % peso (g)	Medición experimental
¿Cuáles son las variables que intervienen en el proceso?	Determinar las variables que intervienen en el proceso.	Las variables del proceso son: velocidad del mezclador, tiempo de mezclado y formulación de la mezcla.				
¿Cuál debe ser la composición adecuada del mármol sintético?	Determinar la composición del mármol sintético.	La composición adecuada del mármol sintético se encuentra en un intervalo del 20% al 50% de cáscara de huevo en peso.				

## Anexo 2: Determinación del tiempo de mezclado y velocidad del impulsor experimental

Con estos 6 ensayos realizados se determinó que el tiempo de mezclado es de 30 minutos y la velocidad del impulsor es de 80 rpm, obteniéndose mezclas homogéneas sin la presencia de burbujas de aire y 2 fases.

Experimentos	Cascara de huevo (g)	Resina(g)	Tiempo de mezclado (minutos)	Velocidad del impulsor (rpm)
1	30	70	20	100
	30	70	30	80
2	40	60	20	100
	40	60	30	80
3	50	50	20	100
	50	50	30	80

Anexo 3: Fotografías de las diferentes muestras para la determinación del tiempo de mezclado y velocidad del impulsor



## Anexo 4: Análisis por compresión según Norma ASTM – C170

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DIAMANTINOS EN ROCAS	Código	FOR-LTC-CO-037
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL

**LABORATORIO DE ENSAYOS EN ROCA**  
ASTM C170/C170M-17

<b>REFERENCIA</b>	: Datos de laboratorio	<b>Fecha de ensayo:</b> 09/07/2021
<b>SOLICITANTE</b>	: Mayra Perez Chahua / Yesenia Blanco Vasquez	
<b>TESIS</b>	: "Elaboración de mármol sintético a partir de la cáscara de huevo"	
<b>UBICACIÓN</b>	: Lima	

N° de Testigos	Identificación	Fecha de Rotura	Altura (cm)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Relacion altura / diametro	Carga Maxima (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	30% CASCARA DE HUEVO Y 70% RESINA	9/07/21	7.6	5.1	20.42	1.49	13297	651.2
2	40% CASCARA DE HUEVO Y 60% RESINA	9/07/21	7.6	5.1	20.42	1.49	12021	588.7
3	50% CASCARA DE HUEVO Y 50% RESINA	9/07/21	7.5	5.1	20.42	1.47	10850	531.3

**OBSERVACIONES:**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA



(511) 457 2237 / 989 349 903  
 J.r. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
 San Martín de Porres - Lima  
 informes@mtlgeotecniassac.com

www.mtlgeotecniassac.com

## Anexo 5: Análisis de microdureza Knoop según norma UNE –EN 14205:2004



(511) 457 2237 / 989 349 903  
 Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
 San Martín de Porres - Lima  
 informes@mtlgeotecniasac.com

www.mtlgeotecniasac.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO MICRODUREZA KNOOP	Código	FOR-PR-LAB-AG-008.01
		Revisión	0
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	21/07/2021
<b>LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS</b> UNE - EN 14205:2004			
TESIS : "Elaboración de mármol sintético a partir de la cáscara de huevo" SOLICITANTE : Mayra Perez Chahua / Yesenia Blanco Vasquez UBICACIÓN : Lima EXPEDIENTE N° : -			
Cantera : - Material : Mármol N° Muestra : -		Aprobado por: CJRT Ensayado por: CJRT Fecha de ensayo: 22/07/2021	
<b>MICRODUREZA KNOOP</b> UNE - EN 14205:2004			

**A) INFORMACIÓN DEL ENSAYO:**

Tipo de Material: Mármol  
 Tipo de Probeta: Rectangular

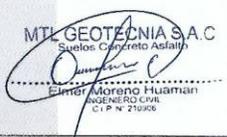
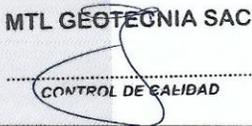
Descripción	Probeta Rectangular		
	30% Huevo - 70% Resina	40% Huevo - 60% Resina	50% Huevo - 50% Resina
Muestra N°			
Ancho (mm)	50	50	50
Largo (mm)	50	50	50
Espesor (mm)	30	30	30

**B) ENSAYO DE MICRODUREZA KNOOP:**

Muestra N°	30% Huevo - 70% Resina	40% Huevo - 60% Resina	50% Huevo - 50% Resina
Longitud Diagonal Mayor (mm)	0.21	0.21	0.21
Fuerza Aplicada (kgf)	0.255	0.264	0.280
Número de Dureza Knoop (HK)	82.11	85.01	90.16

**OBSERVACIONES:**

- \* Muestra provista e identificada por el solicitante.
- \* El tiempo de indentación se encuentra entre 10 a 15 seg.
- \* Se aseguró que la probeta cumpla con las dimensiones mínimas de tal forma los resultados sean representativos.
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 MTL GEOTECNIA SAC ENSAYO DE MATERIALES	 MTL GEOTECNIA S.A.C Suelos, Cimentos, Asfalto Elmer Moreno Huamán INGENIERO CIVIL C.I.P. N° 219108	 MTL GEOTECNIA SAC CONTROL DE CALIDAD
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

## Anexo 6: Análisis de absorción de agua según norma ASTM C97



(511) 457 2237 / 989 349 903  
 Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
 San Martín de Porres - Lima  
 informes@mtlgeotecniasac.com

www.mtlgeotecniasac.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO ABSORCIÓN</b>	Código	FOR-PR-LAB-AG-003.01
		Revisión	2
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	22/06/2021
<b>LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO</b> ASTM C97/C97M-18			
PROYECTO : "Elaboración de mármol sintético a partir de la cáscara de huevo" SOLICITANTE : Mayra Perez Chahua / Yesenia Blanco Vasquez UBICACIÓN : Lima EXPEDIENTE N° : -			
Cantera : - Material : Mármol con cáscara de huevo N° Muestra : -		Aprobado por: CJRT Ensayado por: CJRT Fecha de ensayo: 21/07/2021	
<b>ABSORCIÓN PARA MATERIALES PÉTREOS</b> ASTM C97/C97M-18			

**A) INFORMACIÓN DE LABORATORIO:**

Punto N°		30% H - 70% R	40% H - 60% R	50% H - 50% R	
1)	Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca	gr	210.80	219.30	228.30
2)	Peso de la Muestra Seca	gr	210.60	219.10	228.10
3)	Absorción	%	0.095	0.091	0.088

**B) ABSORCIÓN DE AGUA:**

<b>ABSORCIÓN (%)</b>	<b>0.0913</b>
----------------------	---------------

**OBSERVACIONES:**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por:  MTL GEOTECNIA S.A.C. ENsayo DE MATERIALES J. B.	Revisado por:  MTL GEOTECNIA S.A.C. Suelos Concreto Asfalto Elmer Huaman INGENIERO CIVIL E.P. N° 21305	Aprobado por:  MTL GEOTECNIA SAC CONTROL DE CALIDAD
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

## Anexo 7: Validación de equipos

# Certificado



La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

## TEST & CONTROL S.A.C.

### Laboratorio de Calibración

En su sede ubicada en: Calle Condesa de Lemos N° 117, Urb. San Miguelito, distrito de San Miguel, provincia de Lima y departamento de Lima

Con base en la norma

**NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración**

Facultándolo a emitir Certificados de Calibración con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-05P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 24 de marzo de 2019

Fecha de Vencimiento: 23 de marzo de 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Estela Contreras Jugo', is written over a horizontal line.

**ESTELA CONTRERAS JUGO**  
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 230-2019-INACAL/DA

Contrato N° : Adenda al Contrato de Acreditación N°004-16/INACAL-DA

Registro N° : LC-016

Fecha de emisión: 05 de junio de 2019

*El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web [www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados](http://www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados) al momento de hacer uso del presente certificado.*

*La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) del Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mútuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).*

DA-acr-01P-02M Ver. 02

## Anexo 8: Comparación de propiedades físico – mecánicas de mármoles sintéticos

---

	<b>Mármol sintético obtenido</b>	<b>Mármol sintético de otros autores</b>
<b>Propiedades</b>	Absorción de agua (%)=0.091 Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> ) =588.7 Microdureza Knoop (Kg/mm <sup>2</sup> ) = 85.01	Absorción de agua (%)=0.095 – 0.37 Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> ) = No hay estudios Microdureza Knoop (Kg/mm <sup>2</sup> ) = 29 -34

---

Fuente: Antecedentes internacionales