

DESARROLLO DE PROTECTOR HIDROREPELENTE PARA USO EN PIEDRAS  
ARENISCAS Y MÁRMOL PARA LA EMPRESA CONALMIN S.A.S.

JESSICA MICHEL BOHÓRQUEZ REYES

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2018

DESARROLLO DE PROTECTOR HIDROREPELENTE PARA USO EN PIEDRAS  
ARENISCAS Y MÁRMOL PARA LA EMPRESA CONALMIN S.A.S.

JESSICA MICHEL BOHÓRQUEZ REYES

Proyecto integral de grado para optar al título de  
INGENIERA QUÍMICA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2018

Nota de Aceptación

---

---

---

---

ELIZABETH TORRES GÁMEZ

---

SANDRA LILIANA MESA

---

ALEXANDER JIMÉNEZ

Bogotá D.C. 26 de febrero de 2018

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. JAIME POSADA DÍAZ**

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Posgrados.

**Ing. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS**

Secretario General

**Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA**

Decano de Facultad de Ingenierías

**Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI**

Director del Programa de Ingeniería Química

**Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## DEDICATORIA

*A Dios que me permitió llegar donde estoy hoy en día; a mis padres por su esfuerzo para que mis sueños se hagan realidad; a Omar y Miguel porque me motivaron para ser su ejemplo a seguir y a mi bebe, Juan Pablo, quien es mi motivo para salir adelante, GRACIAS.*

*Michel Bohórquez*

## AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus agradecimientos a Conalmin S.A.S., al Señor Orlando Tovar y familia por permitir el desarrollo del proyecto, así como su colaboración y apoyo durante el desarrollo del mismo.

Al ingeniero Jhon Freddy por su colaboración y seguimiento durante la elaboración del proyecto, a la ingeniera Jessica Agresott por su colaboración y comprensión en todo momento.

A la ingeniera Elizabeth Torres por su acompañamiento en el proceso de elaboración de este trabajo y por sus consejos que han sido fundamentales en la elaboración de este trabajo.

Y A todos aquellos que me brindaron un apoyo incondicional para la realización del proyecto, mi más sincero agradecimiento por su ayuda y orientación.

## CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	19
INTRODUCCIÓN	21
OBJETIVOS	22
1. MARCO TEÓRICO	23
1.1 PIEDRAS NATURALES	23
1.1.1 Piedras Naturales de uso arquitectónico.	27
1.1.3 Factores del deterioro en las piedras naturales.	30
1.2 COMPUESTOS HIDROFUGANTES	33
1.2.1 Organosilícicos	34
1.2.2 Organometálicos	37
1.2.3 Oxalatos	37
1.2.4 Polímeros orgánicos	37
1.3 DISOLVENTE	38
1.3.1 Agua como Disolvente	38
1.3.2 Disolventes orgánicos	38
2. SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS	41
2.1 CONALMIN S.A.S.	41
2.1.1 Misión	42
2.1.2 Visión	42
2.2 SUSTRATOS SELECCIONADOS	42
2.2.1 Piedra muñeca	43
2.2.2 Piedra blanca	43
2.2.3 Mármol negro San gil	43
2.2.4 Mármol café caracol	43
2.3 SELECCIÓN DEL AGENTE HIDROFUGANTE	43

2.3.1	Fabricantes de agentes Hidrófugos	44
2.3.2	Parámetros de Selección del agente hidrófugo	45
2.3.3	Matriz de Selección del agente hidrófugo	48
2.3.4	Selección del disolvente para agentes hidrófugos A, B y E	53
3.	DESARROLLO EL HIDROREPELENTE	55
3.1	PRUEBAS DEL HIDRÓFUGO	55
3.1.1	Ángulo de contacto.	56
3.1.2	Absorción de agua.	57
3.1.3	Tubo de Karsten.	58
3.1.4	Erosión química.	59
3.1.5	Resistencia al Manchado.	60
3.2	DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES DEL AGENTE HIDROFUGANTE	60
3.2.1	Determinación materia prima A	61
3.2.2	Determinación materia prima B	61
3.2.3	Determinación materia prima E	61
3.3	NÚMERO DE EXPERIMENTOS	61
3.3.1	Número de experimentos primera Etapa	62
3.3.2	Número de experimentos segunda etapa	62
3.4	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	62
3.4.1	Resultados y análisis de resultados primera etapa	62
3.4.2	Resultados y análisis de resultados segunda etapa	64
3.5	SELECCIÓN DEL AGENTE HIDRÓFUGO Y CONCENTRACIÓN	70
3.5.1	Mejor agente hidrofugante para el sustrato 1: Piedra muñeca	72
3.5.2	Mejor agente hidrofugante para el sustrato 2: Piedra Blanca	75
3.5.3	Mejor agente hidrofugante para el sustrato 3: Mármol negro	76
3.5.4	Mejor agente hidrofugante para el sustrato 4: Mármol Café	78
4.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA PRODUCCIÓN DEL HIDROREPELENTE	80
4.1	VOLUMEN DE PRODUCCIÓN	80
4.2	BALANCE DE MASA	81

4.2.1	Balance de masa para la MP E al 5%	82
4.2.2	Balance de masa para la MP E al 25%	83
4.3	DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS	84
4.3.1	Tanques	84
4.3.2	Agitador	88
4.4	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO	91
5.	ANÁLISIS FINANCIERO	94
5.1	COSTOS DE INVERSIÓN	94
5.2	COSTOS DE PERSONAL	95
5.2.1	Mano de obra directa	95
5.2.2	Nomina administrativos	96
5.2.3	Nomina ventas	96
5.2.4	Proyección de gastos de nómina	97
5.3	COSTO DE MATERIAS PRIMAS	97
5.4	COSTOS INDIRECTOS	98
5.4.1	Costos eléctricos	98
5.4.2	Intereses financieros	99
5.4.3	Depreciaciones	99
5.4.4	Proyección costos Indirectos	99
5.5	VENTAS	100
5.6	FLUJO DE CAJA	100
6.	CONCLUSIONES	102
7.	RECOMENDACIONES	103
	BIBLIOGRAFÍA	104
	ANEXOS	108

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Disolventes controlados por estupefacientes	48
Tabla 2. Agentes hidrófugos pre-seleccionados	49
Tabla 3. Valor a asignar de acuerdo al parámetro	50
Tabla 4. Peso asignado a cada parámetro.	51
Tabla 5. Valores asignados para cada agente hidrófugo.	52
Tabla 6. Características de los tres agentes hidrófugos seleccionados	53
Tabla 7. Ángulos posibles para la prueba de ángulo de contacto	56
Tabla 8. Resultados obtenidos para los sustratos en Blanco	63
Tabla 9. Resultados para la piedra muñeca	66
Tabla 10. Resultados para la piedra blanca	67
Tabla 11. Resultados para el mármol negro	69
Tabla 12. Resultados para el mármol café	70
Tabla 13. Forma de la Matriz de Richman	72
Tabla 14. Relevancia para priorización de piedra muñeca	73
Tabla 15. Datos normalizados para el sustrato piedra muñeca	73
Tabla 16. Relevancia para priorización de piedra blanca	75
Tabla 17. Datos normalizados para el sustrato piedra blanca	75
Tabla 18. Relevancia para priorización de mármol negro	76
Tabla 19. Datos normalizados para el sustrato mármol negro	77
Tabla 20. Relevancia para priorización de mármol café	78
Tabla 21. Datos normalizados para el sustrato mármol café	78
Tabla 22. Características AISI 304	84
Tabla 23. Resumen costo de equipos	95
Tabla 24. Gastos nomina mano de obra directa	96
Tabla 25. Proyección nomina a 5 años	97
Tabla 26. Costo de materias primas	97
Tabla 27. Proyección compra MP	98
Tabla 28. Consumo energético	99
Tabla 29. Depreciación maquinaria y equipo	99
Tabla 30. Proyección costos indirectos	100
Tabla 31. Proyección ventas	100
Tabla 32. Gastos nomina ventas	149

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Estructura química de los compuestos Organosilícicos	34
Figura 2. Factores obtenidos para cada agente hidrófugo	53
Figura 3. Índices de priorización para piedra muñeca	74
Figura 4. Índices de priorización para piedra blanca	76
Figura 5. Índices de priorización para mármol negro	77
Figura 6. Índices de priorización para mármol café	79
Figura 7. Balance global de masa para la MP E al 5%	82
Figura 8. Balance global de masa para la MP E al 25%	83
Figura 9. Proporciones del agitador	89
Figura 10. Diagrama de flujo de proceso para la producción de hidrófugos	91
Figura 11. Diagrama de Flujo proceso interno de calidad	93
Figura 12. Rango de viscosidad para agitadores	132
Figura 13. Numero de potencia en función de Reynolds	133
Figura 14. Ficha técnica piedras areniscas.	134
Figura 15. Ficha técnica Mármol.	135
Figura 16. MSDS producto hidrorepelente	136
Figura 17. Precio de las válvulas y sus especificaciones.	144
Figura 18. Precio de tubería por 3 metros.	145
Figura 19. Precio tanque almacenamiento agua desionizada.	145
Figura 20. Cotización tanque almacenamiento MP E y tanque de mezclado.	146
Figura 21. Pliego tarifario Luz sector no residencial	148

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfico 1. Transformación para ángulo de contacto – Piedra muñeca	120
Gráfico 2. Transformación para absorción de Agua – piedra muñeca	120
Gráfico 3. Transformación para tubo de Karsten – piedra muñeca	121
Gráfico 4. Transformación para erosión química – piedra muñeca	121
Gráfico 5. Transformación para manchado – piedra muñeca	122
Gráfico 6. Transformación para ángulo de contacto – piedra blanca	123
Gráfico 7. Transformación para absorción de agua – piedra blanca	123
Gráfico 8. Transformación para tubo de Karsten – piedra blanca	124
Gráfico 9. Transformación para erosión química – piedra blanca	124
Gráfico 10. Transformación para manchado – piedra blanca	125
Gráfico 11. Transformación para ángulo de contacto – mármol negro	126
Gráfico 12. Transformación para absorción de agua – mármol negro	126
Gráfico 13. Transformación para tubo de Karsten – mármol negro	127
Gráfico 14. Transformación para erosión química – mármol negro	127
Gráfico 15. Transformación para manchado – mármol negro	128
Gráfico 16. Transformación para ángulo de contacto – mármol café	129
Gráfico 17. Transformación para absorción de agua – mármol café	129
Gráfico 18. Transformación para tubo de Karsten – mármol café	130
Gráfico 19. Transformación para erosión química – mármol café	130
Gráfico 20. Transformación para manchado – mármol café	131

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Reacción de obtención de silicatos.	36
Ecuación 2. Cálculo de los factores.	52
Ecuación 3. Porcentaje de absorción	58
Ecuación 4. Simulación de condiciones de lluvia con el tubo Karsten	58
Ecuación 5. Cálculo del Volumen Útil del tanque	85
Ecuación 6. Grupo de fórmulas para encontrar el diámetro del tanque	85
Ecuación 7. Cálculo de la Presión de Diseño	87
Ecuación 8. Cálculo de la presión hidrostática	87
Ecuación 9. Cálculo de la Altura del Fluido	87
Ecuación 10. Cálculo del espesor de la pared	88
Ecuación 11. Cálculo del Diámetro del Rodete	88
Ecuación 12. Cálculo del ancho del rodete	88
Ecuación 13. Cálculo del espesor del rodete	88
Ecuación 14. Cálculo del largo del agitador	89
Ecuación 15. Cálculo del ancho de los deflectores	89
Ecuación 16. Calculo Revoluciones	89
Ecuación 17. Calculo Reynolds	90
Ecuación 18. Calculo potencia	90

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Rocas Clásticas	25
Cuadro 2. Rocas químicas u orgánicas	26
Cuadro 3. Criterios de priorización	71
Cuadro 4. Peso para cada criterio	74
Cuadro 5. Equipos contenidos en el PFD	92

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Manual de instalación piedra muñeca	109
Anexo B. Listado de Hidrófugos ofrecidos en el mercado	114
Anexo C. Datos completos obtenidos de experimentación segunda etapa.	119
Anexo D. Funciones de transformación para piedra muñeca	120
Anexo E. Funciones de transformación para piedra blanca	123
Anexo F. Funciones de transformación para mármol negro	126
Anexo G. Funciones de transformación para mármol café	129
Anexo H. Rango de viscosidades para agitadores	132
Anexo I. Numero de potencia en función de Reynolds	133
Anexo J. Fichas técnicas y MSDS Producto desarrollado	134
Anexo K. Cotización Equipos	144
Anexo L. Amortización préstamo	147
Anexo M. Precio del kW/h sector no residencial	148
Anexo N. Gastos de nomina	149
Anexo O. Flujo de Caja	150

## GLOSARIO

**ABSORCIÓN:** es la incorporación o asimilación de líquidos en el interior de una sustancia sólida de modo que las moléculas del fluido lo penetran.

**ASERRÍO DE PIEDRA:** proceso de transformación de la piedra mediante el corte para la obtención de tocetos, placas y tabletas.

**DILUCIÓN:** reducción de la concentración del agente hidrófugo por adición de un solvente.

**DUREZA:** propiedad mecánica de los materiales que consiste en la resistencia superficial a la deformación de un sólido, dificultad para crear rayas o marcas en una superficie.

**EFLORESCENCIA:** migración de sales contenidas en el agua, que al salir a la superficie de las piedras naturales generan manchas color blanco, Algunas sales solubles en agua pueden ser transportadas por capilaridad a través de los materiales porosos y ser depositadas en su superficie cuando se evapora el agua por efecto de los rayos solares y/o del aire.

**EROSIÓN QUÍMICA:** es el proceso por el cual las rocas se descomponen por reacciones químicas como hidrólisis, oxidación y carbonatación.

**HIDRÓFUGO:** es un aditivo líquido que permite disminuir notablemente la absorción de agua en un sustrato evitando la aparición de eflorescencias superficiales.

**HIDROREPELENCIA:** propiedad que limita la penetración del agua en los poros y capilares de una superficie.

**HUMEDAD:** es el contenido de H<sub>2</sub>O en forma líquida o vapor que se encuentra presente en el aire o una superficie.

**MÁRMOL:** piedra metamórfica cuyo principal componente es el carbonato de calcio, combinado en ocasiones con carbonato de magnesio. Es una piedra caliza de textura granulada o compacta, que pueden ser pulidas o utilizadas en trabajos finos de construcción.

**PERMEABILIDAD:** propiedad que determina la velocidad a la que se desplaza el fluido que contiene por unidad de tiempo. Mientras más permeable sea la piedra mayor será la filtración del agua.

**PIEDRA MUÑECA:** piedra natural de tipo arenisca, extraída de la sabana de Bogotá. Color amarillento, puede presentar vetas y variaciones de color y tono características propias del material.

**POROSIDAD:** propiedad física, volumen ocupando los espacios vacíos o volumen poroso<sup>1</sup> expresado como fracción o porcentaje.

**REPELENCIA AL AGUA:** propiedad de las piedras naturales que reduce las tasas de infiltración. De este modo, la superficie de un suelo repelente al agua puede llegar a ofrecer una resistencia intensa a la humectación, lo que hace disminuir la infiltración del agua acumulada en la superficie durante períodos de tiempo.

**SOLVENTE:** son compuestos orgánicos basados en el elemento Carbono. Algunos de ellos tienen aplicaciones industriales como los pegamentos, pinturas, barnices y fluidos de limpieza.

**SUSTRATO:** piedra natural sobre la cual es aplicado el hidrorrepelente.

**TENSIÓN SUPERFICIAL:** es la fuerza que actúa tangencialmente por unidad de longitud en el borde de una superficie libre de un líquido en equilibrio y que tiende a contraer dicha superficie. Trabajo que debe realizarse para llevar moléculas en número suficiente desde el interior del líquido hasta la superficie para crear una nueva unidad de superficie. Debido a estas fuerzas, la superficie tiende a contraerse y ocupar el área más pequeña posible. Si se trata de una gota libre, tiende a tomar la forma esférica.

**TOCETO:** piedra natural con terminación en un formato establecido usado para la construcción.

---

<sup>1</sup> ALONSO, Javier. Propiedades físicas: densidad y porosidad, 2010, p. 1-4 [citado el 7 de julio de 2017].  
Disponible en Internet:  
<[https://www.researchgate.net/publication/237009661\\_PROPIEDADES\\_FISICAS\\_DENSIDAD\\_Y\\_POROSIDAD](https://www.researchgate.net/publication/237009661_PROPIEDADES_FISICAS_DENSIDAD_Y_POROSIDAD)  
>

## RESUMEN

Actualmente existe una creciente demanda en materiales de construcción como por ejemplo las piedras naturales, los cuales vienen acompañados de productos para el cuidado y mantenimiento; debido a esto la empresa Conalmin S.A.S. se interesa en el desarrollo de dichos productos.

El presente trabajo busca la selección de un agente hidrofugo que pueda ser aplicado en las piedras naturales, ya sea en piedra muñeca, piedra blanca, mármol negro o mármol café; las especificaciones técnicas para su producción y el análisis financiero del proceso.

Inicialmente se establecieron las características de los sustratos a los cuales se aplicó el producto luego se seleccionaron diez (10) posibles materias primas hidrofóbicas que podían ser aplicadas sobre el sustrato. Por medio de la metodología de factores ponderados se seleccionaron tres (3) con las cuales se realizaron los ensayos experimentales; las materias primas (MP) seleccionadas se denominan MP A, MP B y MP E. Posteriormente se llevó a cabo las pruebas experimentales con cada una de las materias primas evaluándolas a dos diferentes concentraciones seleccionando la máxima y mínima recomendada por el proveedor para cada materia prima, las pruebas que se realizaron fueron: ángulo de contacto, absorción de agua, tubo de Karsten, erosión química y manchado las anteriores se realizaron para determinar el agente hidrofugo y la que concentración a la cual presenta un mejor desempeño protegiendo la piedra especialmente del agua.

El método de selección para determinar el mejor agente hidrofugante para cada sustrato fue la metodología multicriterios. De los resultados obtenidos los que presentaron mejor desempeño fueron para piedra muñeca y piedra blanca la MP E a una concentración de 5%, con índices de priorización de 0,781 y 0,775 respectivamente; y el agente hidrofugante con la que se obtuvo los mejores resultados para mármol negro y mármol café fue la MP E a una concentración del 25% con índices de priorización de 0,945 y 1 respectivamente.

Se procedió a definir las especificaciones técnicas de producción del protector hidrofugo seleccionado iniciando con el balance global de masa para determinar las cantidades de materia prima a utilizar y posteriormente se realizó el diseño de los equipos para el proceso de producción.

Finalmente se calcularon los costos involucrados en el proceso de producción del producto hidrófugo; esto mediante la elaboración de un flujo de caja proyectado a 5 años. Se encontró que el proyecto es viable con una TIR de 78% y una VAN (Valor Actual Neto) de \$ 12.637.106 COP.

Palabras clave: Piedras Naturales, Agente hidrófugo, Manchado, Absorción de agua, Tubo Karsten.

## INTRODUCCIÓN

Las piedras naturales debido a su belleza son altamente usadas en la construcción siendo empleadas principalmente para fachadas, escaleras, borde de piscinas y zonas húmedas, razón por la cual se encuentran constantemente expuestas al agua, humedad y a diferentes soluciones acuosas las cuales pueden afectar el aspecto natural de la piedra, causando manchado, erosión y agrietamiento.

La humedad en las piedras naturales causa diferentes daños en algunos casos irreversibles por lo que es necesario aplicar productos para el cuidado y mantenimiento previo a que se generen los daños, por lo que se han realizado diferentes investigaciones buscando productos o tratamientos más eficaces y eficientes para evitar dichos daños.

En el presente trabajo de grado se estudian diferentes agentes hidrófugos siendo estos de tipo silano, siloxano y fluorocarbonado, los cuales se encargan de disminuir el ingreso del agua para así prevenir el daño de las piedras naturales, inicialmente se muestran las características de los sustratos sobre los cuales se aplica el hidropelente siendo estos piedra muñeca, piedra blanca, mármol negro san gil y mármol café caracol, se observan los diferentes tipos de agentes hidrófugos su naturaleza entre otras características.

Se evalúan diferentes agentes hidrofugantes a dos concentraciones con el objetivo de determinar cuál de ellas ofrece una mejor protección a las piedras naturales, en el presente trabajo de grado se incluye balance de masa, diseño conceptual de las operaciones básicas para la producción, diseño de equipos, determinación de flujo de caja y viabilidad económica del proyecto.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un protector hidrorrepelente para el mantenimiento y cuidado de las piedras areniscas y mármol para Conalmin S.A.S.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Seleccionar las materias primas para la producción de protector hidrófugo que no afecten el aspecto natural de las piedras areniscas y mármol.
2. Determinar la formulación del protector hidrorrepelente mediante un desarrollo experimental.
3. Establecer las especificaciones técnicas para la producción del protector hidrorrepelente para el cuidado de las piedras naturales.
4. Realizar el análisis financiero para la producción del protector hidrorrepelente.

## 1. MARCO TEÓRICO

Las piedras naturales han sido utilizadas para la construcción desde hace siglos, haciendo de la conservación de las mismas un reto indispensable en los tiempos actuales. Para el cuidado de las piedras se han desarrollado impregnantes hidrófugos, los cuales son elaborados a través de nanotecnología y formulaciones por medio de un proceso de polimerización formando películas hidrorrepelentes en la superficie de poros y capilares<sup>2</sup>.

La hidrofugación consiste en la aplicación de un tratamiento que impida la entrada de agua líquida en la roca, pero que permita el intercambio de vapor de agua con el ambiente, los impregnantes hidrófugos además de no permitir la absorción del agua no deben cambiar el aspecto natural de la piedra Natural, no deben formar película visible sobre la superficie, deben presentar estabilidad frente a los agentes de alteración y frente a la radiación UV, reversibilidad o posibilidad de aplicación de un nuevo tratamiento y buena adhesión a la roca. Los protectores hidrófugos que existen actualmente en el mercado reducen eflorescencias y evitan la formación de depósitos orgánicos y otro tipo de suciedad<sup>3</sup>, sin embargo, la aplicación de un mal tratamiento hidrofugo o mala aplicación sobre la piedra puede dar origen a futuras lesiones o daños sobre las piedras, en algunos casos la piedra posee cierto contenido de sales causando cristalización y eflorescencias.

El presente trabajo se realizó de acuerdo a las piedras naturales de Conalmin S.A.S. y en el presente aparte se detallan las temáticas y conceptos necesarios para el buen desarrollo del trabajo.

### 1.1 PIEDRAS NATURALES

Las rocas son agregados de minerales en forma sólida compacta, los componentes son definidos y se encuentran ordenados en su interior formando cristales<sup>4</sup>, en términos geológicos, una piedra o roca hace referencia a cualquier material consolidado que se haya formado por procesos naturales inherentes a la evolución

---

<sup>2</sup> STONECLEAR. Impregnaciones hidrófugas, s.f. Disponible en Internet:

<<http://shop.stoneclearproductos.es/Tratamientos-de-proteccion/Impregnaciones-hidrofugas>>

<sup>3</sup> MOSQUERA, María. Nuevos Productos para Restauración y Conservación del Patrimonio Cultural. RIIPAC: Revista sobre Patrimonio Cultural, 2013. 153-172 p

<sup>4</sup> VILLALOBOS, Javiera. Las rocas y sus procesos de formación, s.f. Disponible en Internet:

<<http://www.geologia.uchile.cl/las-rocas-y-sus-procesos-de-formacion>>

del globo terráqueo y que puede estar compuesta de uno o más minerales, teniendo características químicas y mineralógicas definidas<sup>5</sup>.

Los minerales se caracterizan por sus propiedades físicas y químicas, cada mineral presenta una composición química definida, dureza, forma del cristal, clivaje, fractura, partición, tenacidad y gravedad específica.

Las piedras naturales son rocas extraídas directamente de la naturaleza que son tratadas y transformadas en placas, tocetos o tabletas para ser usadas en la construcción y ornamentación obteniendo una variedad de productos que se distinguen debido a sus características como brillo, rugosidad, color o propiedades mecánicas.

Existen muchas formas de clasificar las rocas, la principal forma de clasificación es debido a origen y proceso de formación, es la clasificación las rocas se dividen en rocas sedimentarias, rocas ígneas y rocas metamórficas.

- **Rocas Sedimentarias:** Las rocas sedimentarias son aquellas que se forman en la superficie terrestre y cubren cerca de dos tercios de la superficie terrestre, se forman por la litificación de sedimentos sueltos mediante presiones de compactación y por efectos del agua, el viento o el hielo, entre otros. Se distinguen dos grupos de rocas sedimentarias: las rocas clásticas y rocas sedimentarias químicas.

Los sedimentos pueden depositarse y con el paso del tiempo ser compactados y pegados por una especie de cemento formado por algún mineral que se cristalice entre los granos, originando una roca sedimentaria clástica. Los sedimentos también pueden ser solo una precipitación de material disuelto en agua, tal como ocurre cuando se tiene agua con mucha sal y esta se deposita en el fondo. Si el agua finalmente se evapora, se obtendrá un agregado de cristales unidos entre sí, que dará origen a una roca sedimentaria química.<sup>6</sup>

Las rocas Clásticas o detríticas (Ver Cuadro 1) se obtienen mediante la acumulación mecánica de partículas o sedimentos de rocas preexistentes, de acuerdo a su tamaño se clasifican en gruesos, medios, finos y muy finos.

---

<sup>5</sup> INGEOMINAS. Introducción a la geología con ejemplos de Colombia. 2001. 25-90 p. ISBN 9875911720

<sup>6</sup> VILLALOBOS, Javiera. Op. cit.

Cuadro 1. Rocas Clásticas<sup>7</sup>

Componente	Tamaño	Ejemplo	
Gruoso o grava	>2mm	Conglomerado	
		Brecha	
Medios o arenas	1.6 mm a 2 mm	Arena de cuarzo	
		Piedra muñeca	
Finos o limos	0.004 mm a 1.6 mm	Limolita	
Muy finos o arcillas	<0.004 mm	Arcilla	

<sup>7</sup> Adaptado de INGEOMINAS. Op. cit., p. 25-90

Las rocas sedimentarias químicas u orgánicas son formadas a partir de la precipitación de determinados compuestos químicos en soluciones acuosas o bien por acumulación de sustancias de origen orgánico. En el Cuadro 2 se muestra el nombre, la composición y el origen de las rocas químicas.

Cuadro 2. Rocas químicas u orgánicas<sup>8</sup>

Nombre	Composición	Origen
Carbón	Vegetales diversos	Depósito, enterramiento, destilación parcial de plantas.
Coquina	Carbonato de calcio	Acumulación de conchas, organismos marinos.
Diatomita	Sílice opalina	Depósito de conchas de microorganismos marinos o de agua fresca
Tiza	Carbonato de calcio	Depósito de conchas de microorganismos marinos.
Dolomita	Carbonato de calcio y Magnesio	Precipitación inorgánica o reemplazamiento de Ca por Mg.
Sal	Cloruro de sodio	Precipitación inorgánica por evaporación de aguas saladas.
Yeso	Sulfato de calcio (hidratado)	Precipitación inorgánica por evaporación de aguas (marinas).
Caliza	Carbonato de calcio	Precipitación orgánica o inorgánica. A veces partículas retrabajadas por el oleaje antes de consolidarse.
Chert	Sílice	Precipitación inorgánica; depósitos de conchas de microorganismos marinos o reemplazamiento de otros minerales por sílice en rocas existentes.

- Rocas Ígneas: Las rocas ígneas se originan a partir de la solidificación del magma o masa líquida de composición silicatada que procede del interior de la tierra, cuando asciende a la superficie de la tierra se enfría y solidifica en diferentes zonas de la corteza, dependiendo del lugar en donde se solidifica el magma adquiere diferentes propiedades obteniendo una variedad de piedras.

<sup>8</sup> Adaptado de INGEOMINAS. Ibid., p. 25-90

La composición mineralógica promedio de las rocas ígneas es: 59% feldespatos, 12% cuarzo, 17% anfíboles y piroxenos, 4% micas y 8% otros minerales<sup>9</sup>.

- Rocas Metamórficas: Las rocas metamórficas se forman cuando una roca de cualquier tipo es sometida a altas presiones y/o temperaturas. Se pueden formar cuando las rocas se entierran bajo la superficie, sufriendo gran presión debido al peso de las rocas sobre ellas y temperaturas más calientes, a medida que se ubican a mayor profundidad, pueden originarse cuando un magma que llega caliente la roca, o incluso debido al impacto de un meteorito<sup>10</sup>.

**1.1.1 Piedras Naturales de uso arquitectónico.** Las principales variedades de rocas utilizadas como piedras ornamentales son: los granitos, diabasas, basaltos, gabros, areniscas, calizas y mármoles. Las variedades ornamentales más apreciadas son las que tienen coloración amarilla, rosa, rojizo o azul. El nombre de las piedras naturales se da de acuerdo a su composición química, lugar de origen y color.

- Mármol: El mármol es una roca compacta formada a partir de rocas calizas sometidas a elevadas temperaturas y presiones alcanzando un alto grado de cristalización.

El componente básico del Mármol es el carbonato cálcico cuyo contenido supera el 90%, los demás componentes son considerados impurezas, siendo estas las que dan gran variedad de colores y definen sus características físicas. Tras un proceso de pulido por abrasión el mármol alcanza alto nivel de brillo natural.<sup>11</sup>

- Granito: El granito es una roca ígnea con formación y textura cristalina visible. Se compone de feldespato y de otros minerales como circón, apatito, magnetita, ilmenita y esfena. El granito cristaliza a partir de magma enfriado de forma muy lenta a profundidades grandes bajo la superficie terrestre. La densidad del granito varía entre 2.63 y 2.75 g/cm<sup>3</sup>.<sup>12</sup> Es más duro que la arenisca, la caliza y el mármol,

---

<sup>9</sup> DUQUE, Gonzalo. Manual de geología para ingenieros, 2017, [citado el 28 de julio de 2017]. Disponible en Internet: <<http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>>

<sup>10</sup> VILLALOBOS. Op.cit.

<sup>11</sup> TEJADA, Ariel. Rocas Ornamentales, 2001. Disponible en Internet: <<https://es.scribd.com/doc/56727451/ROCAS-ORNAMENTALES>>

<sup>12</sup> Anónimo. ¿Qué es el Granito?, 2011, [citado el 20 de junio de 2017]. Disponible en Internet: <<https://tapuchino.wordpress.com/2011/07/29/que-es-el-granito>>

y su extracción es, por tanto, más difícil. Las mejores clases son muy resistentes a la acción de los agentes atmosféricos.

- **Piedra Arenisca:** La piedra arenisca es una roca sedimentaria con granulado grueso formado por masas consolidadas de arena, su composición química es la misma; así, la roca está compuesta en esencia de cuarzo. El material cimentador que mantiene unidos los granos de arena suele estar compuesto por sílice, carbonato de calcio u óxido de hierro. El color de la roca viene determinado por el material cimentador: los óxidos de hierro generan arenisca roja o pardo rojiza, mientras que los otros producen arenisca blanca, amarillenta o grisácea. Cuando la arenisca se rompe, los granos de arena permanecen enteros, con lo que las superficies cobran un aspecto granular.

**1.1.2 Recomendaciones generales para la durabilidad de la piedra.** Para evitar el deterioro y daños en las piedras se deben seguir una serie de recomendaciones desde el corte de la piedra hasta su mantenimiento y posterior instalación.

En el aserrío de las piedras se debe cortar la piedra adecuadamente, cortando siempre la piedra contra la veta esto con el fin de evitar el agrietamiento además se debe escoger discos de corte diamantados de diferente dureza dependiendo del mineral a cortar, si se utilizan los discos no adecuados se puede fracturar la piedra o el disco.

Durante el cargue, transporte y descargue del material se debe manipular con cuidado con el fin de evitar el agrietamiento, desportille y/o ruptura de las tabletas.

Para llevar a cabo la instalación se debe seguir las recomendaciones contempladas en el manual de instalación (anexo A), se debe asegurar el cumplimiento de estas recomendaciones para lograr la garantía y durabilidad del producto, se deben verificar una serie de recomendaciones técnicas y físicas para la correcta instalación entre las que se destacan:

- **El nivel y escuadra:** se debe verificar que la superficie sobre la cual se va a instalar las piedras naturales no se encuentre desnivelada, si se instala sobre una superficie desnivelada se incrementa el costo siendo necesario mayor pegue, al utilizar el mortero con un espesor superior de 1 cm las propiedades de este se pierden causando con el tiempo el desprendimiento de las piedras.

- El pegamento o mortero: Estos adhesivos son usados para pegar las piedras naturales a una superficie, existe en el mercado diferentes marcas y formulaciones de morteros, la selección del mortero depende de material a instalar, color y sitio donde se va a instalar la piedra. Por ejemplo, si se va a instalar piedra blanca se debe utilizar mortero blanco el cual es elaborado con cemento blanco, si se utiliza para piscinas y zonas húmedas se debe utilizar el pegamento especial el cual contiene látex como aditivo, si no se escoge el pegamento indicado se causa el desprendimiento de la piedra o manchado en el espacio de dilatación.
- La dilatación: entre piedra y piedra se debe asegurar un espacio aproximado de 2mm, las piedras al igual que cualquier edificación o estructura tienen movimientos y esto se vuelve evidente con los asentamientos estructurales. Además, es muy importante considerar que la piedra retiene calor y esto la hace susceptible a los cambios de temperatura. A los cambios de temperatura la piedra reacciona y se expande y contrae por esto se recomienda un espacio de dilatación de 2mm.
- La humedad: La piedra sensible a la humedad tiene el potencial de cambiar de forma debido a una reacción química cuando el agua interactúa con los minerales en la piedra. Este cambio en la forma se conoce comúnmente como ondulación, rizado, abovedado o alabeo. Como la piedra cambia de forma, puede exhibir un movimiento significativo y comenzar a separarse del lecho de mortero. A medida que la piedra se separa, puede desprenderse del lecho de mortero, lo que resulta en una falla de adhesión para evitar este fenómeno se recomienda el sellado de la piedra una vez instalada.
- El polvo y la contaminación: Es necesario que las superficies a pegar se encuentren limpias y libres de impurezas, no debe existir polvo, tierra o escombros esto con el fin que el pegamento funcione correctamente y tenga la adherencia necesaria. El pegamento sobre superficies contaminadas conlleva al desprendimiento de las piedras.
- El espesor del pegue: se debe utilizar el pegue o mortero con un espesor entre 3 a 5 mm, este espesor permite el escape de los esfuerzos evitando la ruptura de los tocetos.

- El acabado de la piedra: en el mercado las piedras naturales tienen diferentes acabados entre los que se encuentra el acabado natural, apomazado, brillado y texturizado; estos acabados generalmente se encuentran en una sola cara.
- Sellado: las piedras naturales deben ser selladas para evitar el manchado y deterioro de las mismas, cuando se sella la piedra los poros en la roca o el espacio entre los cristales que hacen la roca se llenan con el sellador, escondiéndolo de la superficie, evitando el ingreso de líquidos evitando el manchado de la piedra.

**1.1.3 Factores del deterioro en las piedras naturales.** En la antigüedad las piedras naturales eran usadas para la construcción de edificaciones y monumentos, se consideraba que estos minerales eran materiales de construcción eternos, actualmente se conoce que sufren un deterioro que es mayor cuando se encuentran sometidos a ambientes agresivos, especialmente si están ubicados en zonas urbanas, industriales o costeras.

Se identificaron cuatro tipos de factores que pueden alterar el deterioro de las piedras naturales siendo intrínsecos, extrínsecos, constructivos<sup>13</sup> y antrópicos.

- Factores intrínsecos: Son aquellos factores que generan daños en las piedras debido a las características propias del material, las propiedades petroquímicas pueden afectar la durabilidad y generar daños en las piedras, los factores que resaltan son: la naturaleza de los materiales, composición química, composición mineralogía, textura, modo de fractura, dureza, densidad, absorción de agua, porosidad y permeabilidad, que producen que una piedra sea más o menos resistente a un ataque químico, además determinan la superficie de ataque y facilidad del ingreso de agua a través del poro.

Los análisis químicos brindan información de la alterabilidad de la piedra, los análisis mineralógicos permiten determinar el comportamiento del mineral frente al agua, el estudio petrográfico detecta los defectos internos y los ensayos físicos, hídricos y mecánicos ofrecen información de los tratamientos que se pueden realizar. De acuerdo a la composición química de la piedra se puede determinar

---

<sup>13</sup> ALONSO, Francisco Javier, et al. Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación&nbsp; En: RECOPAR. Septiembre,.p. 23-32

la alterabilidad. Las piedras calizas, de carácter básico, son más reactivas frente al medio ambiente urbano, normalmente ácido, que las silíceas<sup>14</sup>.

La composición mineralógica puede aumentar o disminuir las alteraciones en las piedras presentando dos piedras completamente distintas la misma composición química, por ejemplo, la hidrólisis de los feldespatos en que la ortoclasa se convierte en caolinita o en sericita<sup>15</sup>. Distintas variedades alotrópicas pueden implicar alterabilidades diferentes. Incluso la anisotropía de los cristales origina alterabilidades diferentes según sea la orientación.

La porosidad y propiedades mecánicas de las piedras permiten que se presenten alteraciones debido a la presencia y circulación de agua y vapor, generando daños y afectando el aspecto, las propiedades mecánicas superficiales de la piedra están ligadas a la dureza superficial, que puede relacionarse con la dureza por penetración, rebote, rayado y desgaste<sup>16</sup>.

- Factores Extrínsecos: Son los factores relacionados con el ambiente y entorno<sup>17</sup> al cual se encuentran expuestas las piedras, siendo la contaminación atmosférica la principal causante de la aceleración que han experimentado los procesos de degradación, existe un gran número de daños provocados por las condiciones ambientales como lo son las lluvias, la lluvia ácida y los vientos provocando en las piedras rupturas, erosiones, fisuras y cristalización por sales.

Los cambios climáticos y las altas oscilaciones de humedad generan hidratación y deshidratación dando lugar a dilataciones y compactaciones del material causando<sup>18</sup> agrietamiento y afectando el aspecto.

La humedad relativa y las lluvias contribuyen a la filtración por los poros generando arrastre de algunos componentes, cambio de pH, potencial redox entre otros, el ingreso de aguas al poro es corrosivo Señala Revuelta<sup>19</sup> que puede

---

<sup>14</sup> ALCALDE, Manuel ; VILLEGAS, Rosario. Guía para el estudio de la alteración de la piedra de los monumentos y de medidas de conservación; En: IDEA. p. 64

<sup>15</sup> Ibid. p. 64

<sup>16</sup> Ibid. p. 65

<sup>17</sup> GONZÁLEZ, Rafael. La piedra natural y su presencia en el patrimonio histórico. 2009. P 20.

<sup>18</sup> LÓPEZ-ARCE, Paula. La conservación de los geomateriales utilizados en el patrimonio. Daños por cristalización de sales, 2012. p 98.

<sup>19</sup> REVUELTA, Helena. Comportamiento de productos consolidantes aplicados a piedras impregnadas de sales solubles. Cambio en las propiedades mecánicas y respuesta a los factores de deterioro. Universidad de Sevilla, 2010. 4 p.

contener gases como CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, u otros materiales de origen orgánico o mineral que contribuyen a aumentar el poder disolvente de la misma y/o la precipitación de sales en su superficie.

Gases como el anhídrido sulfuroso es el causante principal del ataque ácido a las piedras<sup>20</sup>, este ácido se genera principalmente por actividades asociadas con la combustión de combustibles fósiles (carbón, aceite) tal como ocurre en plantas de energía o de la fundición de cobre, este gas reacciona con los minerales de la piedra causando daños a la estructura.

En zonas cercanas a plantas de tratamientos de residuos urbanos o de fabricación de fertilizantes se genera un alto contenido de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos generando actividad catalítica y modificación del pH.

Las erosiones son provocadas por agentes atmosféricos como el agua, el sol y el viento. El agua desgasta el material porque a su descenso arrastra pequeñas partículas de material, el viento por su parte, transporta partículas que al chocar con las fachadas las erosiona. Adicionalmente se puede depositar material particulado en la superficie de la piedra causando manchado y/o suciedad.

Los compuestos que producen mayor daño son las sales causando graves daños a las piedras causando erosiones y llevándolas hasta su disgregación, la cristalización de las sales altera principalmente las sustancias porosas, estos daños se conocen generalmente como eflorescencias las cuales son manchas blancas producidas por la precipitación de sales, solubles al migrar y evaporarse el agua afectan el material causando deterioro y en los casos más extremos, desprendimiento de la piedra. El agua arrastra las sales hasta la superficie, y al evaporarse el agua las sales quedan acumuladas y concentradas en ciertos núcleos donde se cristalizan causando las eflorescencias.

Existen también agentes biológicos que generan el deterioro de las piedras como microorganismos, bacterias, algas, hongos; generalmente provienen del aire y se instalan en la superficie de la piedra y se desarrollan provocando retenciones de humedad y favoreciendo reacciones químicas.

- Factores Constructivos: Los factores constructivos dependen de las características y formas en las que se realizó la construcción o instalación de las

---

<sup>20</sup> ALCALDE, Manuel ; VILLEGAS, Rosario. Op.cit., p. 65

pedras naturales, en estos factores se destaca el uso del pegue o del mortero, la mala colocación de la piedra, la carga soportada por el material, la selección del material, las tensiones generadas entre la piedra y el edificio, las modificaciones de uso, la inestabilidad del terreno y los riesgos geológicos.

En muchos casos los defectos no son perceptibles a simple vista, pero estos defectos pueden alterar el equilibrio estático causando alteraciones a futuro.

- Factor antrópico o humano: Los daños a causa de este factor se producen generalmente por falta de cuidado y mantenimiento de las piedras. Los impactos por objetos caídos generan daños, desgastes y/o rupturas. Existen daños generados de acuerdo al lugar de instalación, cuando se instala las piedras en cocinas estas se encuentran constantemente expuestas a derrames de grasas, líquidos, ácidos, colorantes y suciedades causando manchas, pérdidas de brillo, fracturas, pérdidas de color entre otros.

## **1.2 COMPUESTOS HIDROFUGANTES**

Los daños en las piedras naturales siempre están presentes; sin embargo, estos daños se pueden evitar mediante un tratamiento previo. Al aplicar un tratamiento hidrofugante se evita el ingreso del agua líquida proporcionando una mayor durabilidad, facilidad de mantenimiento, reducción de eflorescencias, reducción de agrietamientos y adicionalmente se logra un mejoramiento de su aspecto.

Los tratamientos hidrófugos consisten en la aplicación de un impregnante impermeabilizante los cuales tienen la capacidad de penetrar y formar una capa protectora y repelente de varios milímetros de profundidad<sup>21</sup> dentro de la roca (o sustrato), con muy pocos efectos apreciables sobre la tasa de transmisión del vapor de agua a través de poros y capilares. Debido a la significativa profundidad del tratamiento, la abrasión superficial tiene un efecto reducido o nulo sobre el desempeño.

Un protector hidrorepelente usualmente se encuentran compuesto por uno o más agentes impregnates hidrófugos y un solvente, el agente impregnante hidrorepelente es el encargado de disminuir la absorción del agua por parte del sustrato, forma una capa muy fina que recubre el interior del poro sin llegar a obstruirlo, El agente hidrofugante, se aplica diluido en disolventes orgánicos o en

---

<sup>21</sup> Dow Corning. Productos Dow Corning para la protección de materiales de construcción, s.f. p. 2

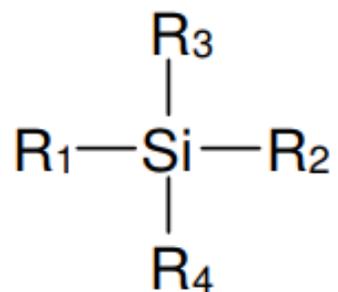
agua, según sea el caso<sup>22</sup> el disolvente es el encargado de penetrar el sustrato llevando el agente hidrofugante al interior del poro, la hidrofobicidad depende del sustrato (material, acabado y tamaño del poro) , del agente hidrofugante (tamaño molecular y concentración) y del disolvente (volatilidad y tamaño molecular).

los agentes impregnantes impermeabilizantes pueden ser de tipo Organosilícicos, Organometálicos, Oxalatos y Polímeros orgánicos.

**1.2.1 Organosilícicos.** Son sustancias a base Silicio (Si) en donde existen radicales alquilos, estos presentan una baja viscosidad. Al aplicar este tipo de sustancias en un sustrato, se forman en los poros del material, películas muy finas caracterizadas por su gran hidrofobicidad, duración y resistencia a los agentes atmosféricos, la luz, los productos químicos, microorganismos y variaciones de elevada temperatura. En la Figura 1 se muestra la estructura química de los compuestos Organosilícicos.

El nombre de los Organosilícicos se debe a que son compuestos orgánicos que precipitan productos inorgánicos (SiO<sub>2</sub>) por medio de reacciones químicas con los sustratos a los cuales son colocados. Se incluyen dentro de esta categoría los Silanos, alquilsilanos, alcoxisilanos, alquialcoxisilanos y siliconatos<sup>23</sup>.

Figura 1. Estructura química de los compuestos Organosilícicos



---

<sup>22</sup> BERTHELY,Alejandro. Hidrofugacion: la aplicación de hidrofugantes con base en silicones reduce el efecto destructivo de la humedad en las construcciones; disponible en <<http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Impermeabilizantes/4%20Hidrofugacion.pdf>>.

<sup>23</sup> SOTO, Melissa. Evaluación de la efectividad del Silicato de Etilo como consolidante para rehabilitar albañilería en edificios patrimoniales. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2014. 113 p

**1.2.1.1 Silanos.** Son compuestos simples en cuya composición intervienen el hidrógeno y el silicio tetravalente. Para la nomenclatura de los Silanos se utilizan prefijos numéricos correspondientes al número de átomos de sílice, cuando los hidrógenos del Silano se sustituyen por grupos alcoxi  $-(OC_nH_m)$ , el producto se denomina alcoxisilano<sup>24</sup> también conocidos como ésteres de ácido silícico o silicatos de etilo.

Los alcoxisilanos utilizados como hidrorrepelentes reaccionan consigo mismos y con cualquier grupo funcional  $-OH$  formando una malla de resina de silicona. Son moléculas pequeñas con baja tensión superficial y baja viscosidad, presentan excelente distribución y penetración en la mayoría de las superficies. La penetración se combina con la estabilidad a la oxidación y a los rayos UV/calor logrando una excelente durabilidad<sup>25</sup>.

Los Silanos unidos con alquilos son eficientes y efectivos repelentes al agua para ser usados en superficies como el concreto, los Silanos con uniones tanto orgánicas como inorgánicas se utilizan como agentes de acoplamiento de distintas formas.

**1.2.1.2 Siloxanos.** Son compuestos en cuya composición interviene la sílice y el oxígeno, el polímero presenta una estructura lineal y posee baja tensión superficial, además tiene excelente distribución sobre los sustratos y por su estructura repele el agua en estado líquido, permitiendo el intercambio de vapor. Los más habituales son los alquilalcoxisiloxanos oligoméricos, se caracterizan por que el tamaño de partícula es lo suficientemente pequeño para penetrar la superficie, pero grande para que no se volatilice con facilidad; adicionalmente resiste a los rayos UV, al calor y a la degradación oxidativa<sup>26</sup>.

**1.2.1.3 Mezcla Silano/siloxano<sup>27</sup>.** Mediante la mezcla de Silanos y siloxanos se obtienen productos especializados para algunos sustratos y, dependiendo del tamaño del poro, se utilizan mezclas con mayor cantidad de Silanos o mayor cantidad de Siloxanos.

---

<sup>24</sup> Ibid. p. 114

<sup>25</sup> CASTRO, Ana; FERNANDEZ, Sthefanny. Desarrollo de la prefactibilidad técnico - financiera para la producción de una mezcla hidrófuga para la protección de mármol y de piedra natural en la empresa ARTENIXCOL LTDA. Universidad de América. Bogotá (Colombia), 2012.

<sup>26</sup> Ibid. p 42

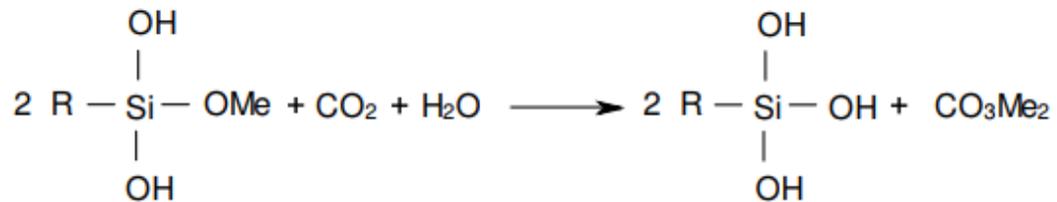
<sup>27</sup> Ibid. p 44

Los hidrofugantes a base de Silanos y siloxanos aumentan la penetrabilidad gracias a su bajo peso molecular. La combinación de distintas proporciones de Silano/siloxano confiere las diferentes propiedades de penetrabilidad y resistencia al álcali necesarias para cada tipo de material.

**1.2.1.4 Silicatos y Siliconatos.** Los silicatos fueron el primer grupo de hidrofugante usado, poseen un solo átomo de silicio en su molécula y se diluyen en agua. La reacción que tiene lugar en el sustrato comienza con la hidrólisis para continuar, posteriormente con la polimerización, quedando un radical alquilo unido a cada átomo de silicio<sup>28</sup>.

La polimerización es bastante lenta y sólo se produce bien en materiales muy porosos. Tienen el inconveniente de la formación de carbonatos alcalinos, muy solubles. En la Ecuación 1 se muestra la reacción de obtención de silicatos.

Ecuación 1. Reacción de obtención de silicatos.



Inicialmente se usaban silicatos de calcio los cuales reaccionaban con el agua o con el CO<sub>2</sub> del aire formando carbonato de calcio, el cual se cristaliza y sella por completo el capilar; este generaba grandes desventajas por la oxidación del calcio formando manchas sobre el sustrato.

Los silicatos sódicos son más estables que los silicatos de calcio, sin embargo, generan poca penetración en el sustrato. Actualmente los siliconatos más utilizados son los de potasio, estos son muy resistentes a las heladas y en su transformación producen carbonatos potásicos, menos perjudiciales para la roca<sup>29</sup>.

<sup>28</sup> REVUELTA. Op.cit., p. 51 p

<sup>29</sup> REVUELTA. Ibid., p. 52 p.

**1.2.2 Organometálicos.** Son sales de ácidos grasos superiores y de iones metálicos, fundamentalmente sodio, potasio, magnesio, cinc y aluminio. Se han utilizado para el tratamiento de edificios modernos<sup>30</sup>. El más empleado es el estearato de aluminio.

Pueden aplicarse en solución acuosa o en solventes orgánicos, obteniéndose una hidrofugación más marcada en este último caso.

**1.2.3 Oxalatos.** Son sales o ésteres del ácido oxálico. Se ha observado que en algunos de los monumentos antiguos elaborados con piedra caliza o con mármol se genera una capa o barniz de óxido de calcio<sup>31</sup>, esta capa protege las rocas de forma natural.

En la actualidad se puede utilizar oxalato de amonio como tratamiento, el oxalato de amonio reacciona con el carbonato de calcio existente en las piedras generando un barniz protector. Este hidrófugo es una capa compacta y poco porosa, soporta agentes corrosivos y es insoluble en agua.

**1.2.4 Polímeros orgánicos.** Son productos altamente estables frente a agentes y alteraciones, adicionalmente permanecen eficaces especialmente en la superficie<sup>32</sup>. Como productos de este tipo cabe destacar las resinas acrílicas, las resinas epoxi, los poliésteres, las resinas termoestables y los fluorcarbonados.

**1.2.4.1 Fluorcarbonados.** Son compuestos orgánicos que contienen enlace flúor-carbono, el flúor se caracterizan por tener muy poca interacción con otros elementos químicos<sup>33</sup>. Los polímeros Fluorcarbonados son resistentes, químicamente inertes, eléctricamente aislantes, y al ser aplicados sobre un sustrato se forma una película de muy baja energía superficial que actúa de efecto repelente al agua, aceite y a las manchas. Inicialmente se usaba sulfonato de perfluorobutano y sulfonato de perfluorooctano (PFOs), actualmente se usan otro tipo de fluorcarbonados que no contienen cloroflororocarbonados (CFC), por lo cual no son considerados como sustancias altamente nocivas porque no contribuyen al deterioro de la capa de ozono.

---

<sup>30</sup> REVUELTA. Ibid., p. 52 p

<sup>31</sup> CASTRO, Ana; FERNANDEZ, Sthefanny. Op.cit., p. 31

<sup>32</sup> REVUELTA. Op.cit., p. 41 p

<sup>33</sup> CASTRO, Ana; FERNANDEZ, Sthefanny. Ibid., p. 31

**1.2.4.2 Resinas epoxi.** Son polímeros termoestables que se endurecen cuando se mezclan con un catalizador o endurecedor, la resina epóxica más simple deriva de una reacción entre el bisfenol A con la epíclorohidrina.

Las resinas epóxicas se caracterizan por tener buena adhesión con los sustratos, dureza, resistencia mecánica, resistencia a agentes químicos y a la oxidación, sin embargo, el tratamiento con resinas epoxi no es recomendado por algunos profesionales en hidrófugos dado que la capa que se crea sobre los sustratos genera un brillo que posteriormente se torna de un tono amarillento.

### 1.3 DISOLVENTE

Son productos químicos que pueden ser de origen natural o químico cuyo objetivo es disolver <sup>34</sup>, permiten la dispersión del agente hidrófugo. Los disolventes se clasifican generalmente por su naturaleza encontrando los inorgánicos (siendo el agua el compuesto generalmente usado) y los orgánicos siendo los más comunes los alcoholes, cetonas, hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos e hidrocarburos halogenados.

Los disolventes se caracterizan tener propiedades físicas y químicas determinadas, que confieren aptitud para su uso además permiten la penetración del agente hidrófugo en los poros del sustrato.

**1.3.1 Agua como Disolvente.** La disolución en agua es ampliamente usada para la fabricación de hidrófugos, los proveedores del agente hidrófugo recomiendan el uso de agua desmineralizada o desionizada para evitar la contaminación del producto, además recomiendan el uso de algún biocida para evitar el desarrollo de microorganismos.

**1.3.2 Disolventes orgánicos.** Los productos obtenidos mediante disolución con compuestos orgánicos son generalmente llamados a Base-Solvente, los proveedores de agentes hidrófugos recomiendan una serie de disolventes como:

---

<sup>34</sup> ABACA, Juan. Manual para el mantenimiento industrial: Pinturas y Revestimientos. Ed. Editorama, 2003, p. 45

**1.3.2.1 Alcoholes.** Los alcoholes son compuestos orgánicos los cuales tienen el grupo hidroxilo (-OH). El metanol es el alcohol más sencillo, se obtiene por reducción del monóxido de carbono con hidrógeno. Los proveedores recomiendan usar Metanol, isopropanol o alcohol anhidro.

El Isopropanol o también nombrado como alcohol isopropílico, 2-propanol, propan-2-ol, es un alcohol incoloro, inflamable, con un fuerte olor y muy miscible en agua. El isopropanol se usa como producto de limpieza y como disolvente en la industria.

El alcohol Anhidro es usado como solvente en trabajos de impresión, disolvente en la industria de plásticos, fabricación de tintes y pinturas a base de solvente, se obtiene de la destilación de mostos frescos de melaza de caña y posterior deshidratación. Recibe otras denominaciones tales como etanol anhidro o alcohol etílico anhidro.

**1.3.2.2 Cetonas.** Son compuestos orgánicos los cuales poseen un grupo funcional carbonilo unido a dos átomos de carbono, la cetona más utilizada como disolvente es la acetona.

La acetona es usada en la fabricación de plásticos, fibras, medicamentos y otros productos químicos; también es ampliamente utilizada como disolvente de otras sustancias químicas, adicionalmente puede sustituir otros disolventes clorados. Se caracteriza por su acción energética y rápida evaporación.

**1.3.2.3 Hidrocarburos Alifáticos.** Son compuestos orgánicos no derivados del benceno. Están formados por átomos de carbono e hidrógeno, formando cadenas abiertas o cerradas; los hidrocarburos pueden encontrarse unidos por enlaces simples, dobles o triples.

Los hidrocarburos alifáticos de uso industrial derivan principalmente del petróleo y se obtienen por craqueo, destilación y fraccionamiento del petróleo crudo. Los más utilizados como disolventes son: el pentano, hexano, heptano, ciclohexano y metilciclohexano.

**1.3.2.4 Hidrocarburos aromáticos.** Son hidrocarburos cíclicos, llamados así debido al fuerte aroma que caracteriza a la mayoría de ellos, se consideran compuestos derivados del benceno y por lo tanto la estructura cíclica del benceno se encuentra presente en todos los compuestos aromáticos.

**1.3.2.5 Hidrocarburos Halogenados.** Son los hidrocarburos que contienen algún hidrógeno de la molécula sustituido por algún átomo del grupo de los halógenos (flúor, cloro, bromo o yodo).

## 2. SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

La selección de materias primas es de gran importancia para cumplir con los objetivos propuestos y para el buen desarrollo de un hidrofugante. En este capítulo se encuentra la selección de las materias primas (hidrófugo y solvente) para cada uno de los sustratos seleccionados; el agente hidrofugante es el encargado de repeler el agua, evitando la absorción a través de los poros.

Señala Revuelta<sup>35</sup>. que un tratamiento hidrófugo debe reunir las siguientes características:

- Impermeabilidad al agua líquida.
- Permeabilidad al vapor de agua, de forma que si el agua consigue penetrar el sustrato esta pueda evaporarse para que el material no permanezca mojado durante mucho tiempo.
- Estabilidad frente a los agentes de alteración y frente a la radiación UV.
- Reversibilidad o posibilidad de aplicar un nuevo tratamiento hidrófugo.
- Buena adhesión al material para que no pueda ser eliminado por la lluvia.
- Suficiente profundidad de penetración.

Para conseguir todo ello, las moléculas hidrófugas deben tener un lado hidrofílico por el que se adhieren a la piedra y un lado hidrofóbico que repela la humedad. De esta manera, se forma una red de moléculas que recubren los granos del material, pero sin obstruir los poros y capilares.

El presente proyecto desarrollo en compañía de Conalmin S.A.S.

### 2.1 CONALMIN S.A.S.

Conalmin S.A.S. es una compañía que inició operaciones en agosto de 2009, nace con el respaldo y experiencia de PROMINERALES Ltda. Conalmin S.A.S. está ubicada en la zona industrial de Sibaté Cundinamarca, en la Carrera 20 No. 45-01, costado occidental de la Represa del Muña vía Indumil. Su objeto social es realizar procesamiento, beneficio y transformación física a través de molienda de minerales no metálicos y vidrio; tiene participación en el mercado nacional en los segmentos de empresas petroleras, industria y comercializadores.

---

<sup>35</sup> REVUELTA. Op. cit., p. 51 p

Dentro de su portafolio ofrece Carbonatos de calcio corriente, Carbonatos de calcio blancos, Dolomitas, Baritas, Caolines, Vidrio Beneficiado y Arena Sílice obtenidos a partir de operaciones unitarias de selección, secado, trituración y molienda logrando productos de diferentes granulometrías.

En el Año 2016 la empresa amplió su portafolio implementando la línea de aserrío de piedras naturales acogiendo familias de productos como piedras areniscas, mármol y granito. Transformando y procesando bloques de piedra obteniendo placas y tabletas usadas en la construcción y decoración.

En la planta de aserrío se realiza el corte y transformación de Piedras naturales como piedra muñeca, piedra blanca, mármol café pinto, mármol negro san gil y granitos, procesados mediante el uso de puente grúa, talla bloques, telares, sierras de disco entre otros para obtener los formatos y acabados requeridos.

**2.1.1 Misión.** Crear valor para el cliente mediante el procesamiento y comercialización de minerales No metálicos y vidrio beneficiado, asegurando que estos sean entregados conforme con las especificaciones acordadas, dentro de los tiempos de entrega y con un servicio superior.

**2.1.2 Visión.** Meta Estratégica Grande y Ambiciosa En el año 2018 Conalmin S.A.S. Será una compañía líder en el mercado ejecutando nuevos negocios gracias a la implementación de tecnologías que permitirán aumentar la capacidad, eficiencia y calidad de los minerales, vidrio y nuevos productos procesados, con generación de ingresos superiores a USD 4 millones, de los cuales el 10% procederá de la operación con clientes del sector petrolero y el 90% restantes de las operaciones en los segmentos de clientes Industriales y comercializadores y un margen de dos dígitos.

## **2.2 SUSTRATOS SELECCIONADOS**

En el mercado existen una variedad de piedras naturales usadas arquitectónicamente, la empresa promotora requiere el uso del producto hidrófugo en piedra muñeca, piedra blanca, mármol negro San gil y mármol café caracol.

**2.2.1 Piedra muñeca.** Es una piedra arenisca proveniente de la sabana de Bogotá, es ideal para revestimientos arquitectónicos interiores y exteriores; gracias a su durabilidad ha sido usada para recubrir pisos y fachadas, así como la construcción de muros y playas. Ofrece alta resistencia al fuego lo que permite que pueda ser usada en chimeneas y su excelente propiedad antideslizante junto a su estabilidad térmica la convierte en un material idóneo para la construcción de piscinas y áreas húmedas.

La piedra muñeca presenta gran variedad de tonos y vetas permitiendo una excelente decoración en interiores, presenta variedad de tonos amarillos, crema, morados y blancos.

**2.2.2 Piedra blanca.** Es una piedra Arenisca, ideal para revestimientos arquitectónicos interiores, es una piedra altamente absorbente, resistente al tráfico alto, sensible al manchado, ofrece alta resistencia al fuego lo que permite que pueda ser usada en chimeneas y su excelente propiedad antideslizante junto a su estabilidad térmica la convierte en un material idóneo para la construcción de muros y pisos en interiores.

La piedra blanca presenta algunas vetas permitiendo una excelente decoración en interiores, usándolas en pisos y fachadas. No es recomendable para uso en piscinas y áreas húmedas debido a su sensibilidad al manchado.

**2.2.3 Mármol negro San gil.** Este Mármol es ideal para revestimientos arquitectónicos interiores, mesones y muros interiores, El mármol negro san gil es de tono principalmente negro, puede presentar vetas blancas y fósiles de caracol blancos creando una majestuosa belleza y permitiendo una excelente decoración en interiores y mesones.

**2.2.4 Mármol café caracol.** Este Mármol es ideal para revestimientos arquitectónicos interiores y exteriores, pisos, mesones de cocina, mesones para baño y muros, es de fondo principalmente café presentando un gran surtido de vetas blancas y fósiles de caracoles blancos beige grises y negros entre otros.

## **2.3 SELECCIÓN DEL AGENTE HIDROFUGANTE**

Como se mostró en la Sección 1.2 de este documento, existe variedad de agentes hidrófugos, en este aparte se muestra cuáles fueron los agentes seleccionados para realizar los ensayos y posteriormente determinar el agente hidrófugo. El proceso de

selección se realizó por medio de una matriz de selección utilizando la metodología de factores ponderados.

**2.3.1 Fabricantes de agentes Hidrófugos.** Actualmente, en el mercado nacional existen diferentes compañías que realizan la fabricación de agentes hidrófugos; algunas de estas compañías son: DuPont, Rohm and Haas Company, Dow Corning, Wacker, Bluestar Silicones y Remmers. En el anexo B se muestran los agentes hidrófugos, sus fabricantes, sus usos y sus respectivas características.

- DuPont: Es una compañía líder mundial en innovación y ciencia basadas en el Mercado, con una experiencia que abarca dos siglos, diversas industrias y más de 90 países. Han desarrollado una serie de siliconas y fluorcarbonos como hidrofugantes para el tratamiento de diferentes sustratos, una de sus líneas son los repelentes selladores penetrantes para piedras y azulejos, de la línea Capstone DuPont presenta cinco productos especializados para el cuidado de las piedras, cada uno diferente en cuanto principio activo, peso molecular, concentración entre otros.
- Rohm and Haas Company: Es una compañía fabricante de productos químicos, en su portafolio ofrecen productos químicos para la fabricación de circuitos impresos, hojas de acrílico, productos químicos agrícolas, pinturas de látex acrílico y ablandadores de agua para usos de purificación de agua industriales, comerciales y científicas. La compañía vende sus productos en los Estados Unidos e internacionalmente.
- Dow Corning: Es una compañía pionera y líder global en siliconas desde 1943, ofrece a través de dos marcas su portafolio. La marca Dow Corning® provee productos y soluciones; La marca XIAMETER® ofrece una opción conveniente y confiable para comprar en línea, siliconas estándar, con la misma calidad.
- Wacker: Es una compañía líder en productos químicos, ofreciendo productos para diferentes sectores industriales, tiene una división de siliconas y de polímeros, ofreciendo productos específicos hidrorepelentes en su línea SILRES® productos BS. Los productos que ofrece Wacker no son formadores de película de tratamiento incoloro, de sustratos minerales, en particular fachadas de mampostería vista. El resultado: capilar absorción de agua se inhibe a largo plazo, sin embargo, la transpirabilidad del sustrato no se ve afectada.

- **Bluestar Silicones:** es una empresa líder mundial en la fabricación de siliconas, de las cuales se destacan las siliconas repelentes para la construcción ofreciendo en su portafolio cerca de diez referencias para ser usadas como hidrorrepelentes para la construcción.
- **Remmers:** Es una empresa fundada en 1949, especializada en la manufacturación y venta de productos específicos para los sectores de la construcción. Es uno de los fabricantes del área de sistemas de tratamiento y acabados de superficies.

**2.3.2 Parámetros de Selección del agente hidrófugo.** El mercado ofrece una variedad de materias primas, por tal motivo se establecieron diferentes parámetros para la selección del agente hidrófugo.

Primero se realiza una pre-selección, con la empresa, de diez materias primas que ofrecen un uso para mármol, granito y piedras areniscas; posteriormente se determinan 3 materias primas denominadas MP A, MP B y MP E (con la metodología de factores ponderados) con las cuales se realizan los ensayos para encontrar el agente hidrofugo que cumpla mejor con las necesidades hidrofóbicas.

La selección de las tres (3) materias primas se determina evaluando los siguientes ítems:

**2.3.2.1 Disponibilidad.** Es de importancia tener en cuenta la facilidad de adquisición de la materia prima (MP), la compra de esta debe ser asequible en Colombia con el fin de asegurar un suministro constante de la misma y evitar futuros inconvenientes, la alta disponibilidad de la MP permite además una negociación de precio debido a la oferta y la demanda.

**2.3.2.2 Concentración del agente activo.** El agente activo de la materia prima suministrada por los diferentes proveedores se encuentra en una concentración determinada debido a su proceso de obtención; se observan materias primas con alta concentración de agente activo o puras, así como se encuentra en el mercado materias primas con una baja concentración de principio activo. Señala Galindo<sup>36</sup> que cuanto más diluido esté el producto, menor será su capacidad de penetrar, especialmente en el caso de los impregnantes hidrosolubles, la molécula de agua es más robusta que las moléculas de otros solventes orgánicos como los alcoholes y por tanto el paso al interior del poro se realiza con mayor dificultad, y en algunos casos, ni siquiera se logra.

cuanto menor sea la concentración del ingrediente activo menor será la capacidad de penetrar los sustratos, al utilizar una materia prima con una mayor concentración se obtendrá mejores resultados y rendimientos del agente activo por lo que se busca que el agente hidrofugante tenga una alta concentración pero adicionalmente se debe tener en cuenta que la concentración del agente activo va de la mano con el tamaño de partícula del agente hidrofugante y del tamaño del poro del sustrato, a tamaños de partícula pequeños, mayores concentraciones de los agentes hidrofugantes para así garantizar que al menos una parte del producto aplicado alcance a reaccionar antes de que se volatilice el agente activo del producto<sup>37</sup>.

**2.3.2.3 Tiempos de entrega.** Es importante que la materia prima no solo se encuentre disponible en Colombia, también se debe tener en cuenta tiempos de entrega por parte del fabricante o comercializador, el manejo de un buen tiempo de entrega permite asegurar una producción, evita contratiempos de planeación y permite evitar un desabastecimiento de producto terminado. Adicionalmente conociendo el tiempo de entrega se permite establecer una programación de compra y determinar las cantidades a comprar.

---

<sup>36</sup> GALINDO, Ana; GARCÍA, Nicolás. Desarrollo de impregnantes hidrófugos para el cuidado de piedras naturales, concreto y ladrillo, en exteriores de construcciones para industria química FLEX, a nivel laboratorio. Universidad de América. Bogotá (Colombia), 2011. P 41

<sup>37</sup> GALINDO, Ana; GARCÍA, Nicolás. Ibid. P 41

**2.3.2.4 Facilidad de adquisición de disolventes.** Existen una variedad de solventes preindicados para cada producto, la correcta selección del solvente permite una mayor o menor penetración en el poro del sustrato, existen en el mercado materias primas que se deben disolver en agua y otras en solventes orgánicos, el proveedor suministra información acerca posibles solventes que se pueden utilizar, pero se debe tener en cuenta que el disolvente se encuentre disponible en Colombia, en algunos casos el proveedor recomienda solventes de difícil adquisición y cuya compra se encuentra restringida en el país.

El solvente de mayor facilidad de adquisición es el agua considera además se considera más conveniente que el agente hidrofugante sea soluble en agua tanto por costos como por el aspecto medioambiental<sup>38</sup> otorgando la mayor calificación para los agentes hidrofugantes solubles en agua , posteriormente se encuentran algunos solventes de fácil adquisición como lo es el alcohol y el thinner solventes asequibles a bajo precio y se considera que presentan un mejor desempeño<sup>39</sup> y por último se encuentra los solventes de difícil adquisición o que son controlados por estupefacientes por lo que es necesario adquirir certificado de carencia de acuerdo a la resolución 0001 de 2015-CNE incurriendo en un costo adicional.

- **Disolventes controlados por estupefacientes.** La resolución 0001 de 2015-CNE establece el control de treinta y tres sustancias químicas que pueden ser utilizadas en la producción ilegal de drogas, el consejo nacional de estupefacientes en la presente resolución establece las sustancias sometidas a control nacional, las sustancias de uso masivo y la cantidad de compra mensual a partir de la cual es necesario adquirir el certificado de carencia, consumo, producción, almacenamiento, distribución e importación.

De los disolventes usados comúnmente que se encuentran controlados por estupefacientes se enuncian en la Tabla 1.

---

<sup>38</sup> GALINDO, Ana; GARCÍA, Nicolás. Ibid. P 47

<sup>39</sup> CASTRO, L., FERNÁNDEZ, S. Op. cit., Pág. 39.

Tabla 1. Disolventes controlados por estupefacientes

Nombre	Campo de Aplicación	Cantidad mínima para adquirir certificado
Acetona	Todo el Territorio Nacional	5 litros
Alcohol isopropílico	Todo el Territorio Nacional	5 litros
Hexano	Todo el Territorio Nacional	5 litros
Metanol	Todo el Territorio Nacional	5 litros
Metil etil cetona	Todo el Territorio Nacional	5 litros
Metil isobutil cetona	Todo el Territorio Nacional	5 litros
Thinner	Todo el Territorio Nacional	110 galones americanos
Tolueno	Todo el Territorio Nacional	5 litros

**2.3.2.5 Vida útil de la materia prima.** Es el tiempo que puede estar almacenada sin sufrir alteraciones de sus propiedades, los fabricantes en las fichas técnicas estipulan un tiempo de vida útil para sus productos, este se debe tener en cuenta a la hora de realizar una compra para así planificar la producción y evitar una pérdida de este. Se busca adquirir materias primas con larga vida útil.

**2.3.2.6 Costo.** Es el valor de la materia prima en el mercado nacional, se considera un factor determinante, se debe buscar el mejor costo posible sin afectar la calidad del producto final. Adicionalmente se busca una MP que no tenga un alto costo, pero que tampoco tenga un muy bajo costo.

**2.3.2.7 Color.** El mercado existe impregnantes que alteran el color del sustrato o en algunos casos proporcionan brillo, para diferenciar el producto elaborado de los que existen en el mercado se pretende que no se afecte visualmente las características naturales de las piedras, permitiendo observar las vetas y los fósiles de manera natural.

**2.3.3 Matriz de Selección del agente hidrófugo.** Como se mencionó anteriormente, las 3 materias primas con las cuales se realiza la experimentación, se determinan por el método de factores ponderados, este método permite realizar un análisis cuantitativo y cualitativo de los ítems y posteriormente se realiza una asignación de peso de importancia a cada uno de ellos.

Debido al secreto profesional que debe mantener la empresa patrocinadora, no se divulga el nombre comercial de las materias primas, por lo que estas se nombran con letras del alfabeto.

Para la selección de las materias primas se tiene en cuenta información proporcionada por cada fabricante en sus fichas técnicas y hojas de seguridad, así

como la información proporcionada por cada departamento de mercadeo de las empresas comerciantes. Las 10 materias primas pre-seleccionadas con la empresa son: (ver Tabla 2)

**Tabla 2. Agentes hidrófugos pre-seleccionados**

Ref.	Disponibilidad	Agente activo	Tiempos de entrega	Facilidad de adquisición de Disolventes	Vida útil	Costo (Kg)	Color
A	Disponible en Bogotá por comercial.	40%	8 días hábiles	Alta facilidad de adquisición, Solvente universal (Agua). Media facilidad de adquisición	18 meses	10,00 USD	Blanco lechoso
B	Disponible en Bogotá por comercial.	98%	8 días hábiles	(Hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos, alcohol anhidro, solventes clorados)	1 año	14,00 USD	Claro a paja
C	Disponible en Bogotá por comercial.	40%	12 días hábiles	Alta facilidad de adquisición, Solvente universal (Agua).	2 años	15,00 USD	Blanco lechoso
D	Disponible en Bogotá por comercial.	15%	12 días hábiles	Media facilidad de adquisición (Heptano, alcoholes)	2 años	77,11 USD	Ámbar amarillo a oscuro
E	Disponible en Bogotá por comercial.	36%	12 días hábiles	Alta facilidad de adquisición, Solvente universal (Agua).	5 años	134,05 USD	Líquido claro, ligeramente amarillo
F	Disponible en Bogotá por comercial.	26%	12 días hábiles	Alta facilidad de adquisición, Solvente universal (Agua).	2 años	92,72 USD	Amarillo a ámbar
G	Disponible en Bogotá por comercial.	98%	12 días hábiles	Media facilidad de adquisición (Isopropanol, etanol)		15,48 USD	Blanco lechoso
H	Disponible en Bogotá por comercial.	20%	15 días hábiles	Alta facilidad de adquisición, Solvente universal (Agua).	2 años	100,00 USD	Incoloro a líquido amarillento
I	Disponible en ciudades diferentes a Bogotá	62%	15 días hábiles	Media facilidad de adquisición (n-butanol)	3 años	60,00 USD	Paja
J	Disponible en ciudades diferentes a Bogotá	25%	15 días hábiles	Alta facilidad de adquisición, Solvente universal (Agua).	2 años	90,00 USD	Incoloro a líquido amarillento

Teniendo en cuenta que los factores a evaluar son en su mayoría son cualitativos por medio de factores ponderados se realiza la selección de tres agentes hidrófugos, siendo necesario normalizar los valores, asignando un valor de 0 a 5 de siendo 0 la menor calificación y 5 la mayor calificación como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Valor a asignar de acuerdo al parámetro

Valor	Disponibilidad	Concentración del agente activo	Tiempos de entrega	Facilidad de adquisición de disolventes	Vida útil de la materia prima	Costo (kg)	Color
0	No disponible en Colombia	0 -15%	No disponible en Colombia.	Solventes no disponibles en Colombia	< 2 meses.	Mayor a 160 US\$ menor a 5 US\$	Otros colores
1	Poco disponible para ser importado a Colombia	15.1 - 20%	Mayor 121 Días hábiles.	Solventes de muy difícil adquisición en el país y de comercialización muy restringida.	2 – 5 Meses	Entre 130 y 160 US\$ y entre 5 y 10 US\$	Amarillo o blanco
2	Disponibilidad en sur américa con posibilidad de importar	20.1 - 30%	Entre 91 a 120 Días hábiles.	Solventes difícil adquisición en el país y de comercialización restringida	5 – 8 Meses	Entre 110 y 130 US\$ y entre 10 y 20 US\$	Transparente con brillo
3	Disponibilidad en Colombia en ciudades diferentes a Bogotá	30.1 - 50%	Entre 31 a 90 Días hábiles.	Baja facilidad de adquisición sin restricciones de comercialización	8 – 12 Meses	Entre 90 y 110 US\$ y entre 20 y 30 US\$,	Ligeramente amarillo
4	Disponibilidad de compra en la ciudad de Bogotá por medio de una comercializadora	50.1 - 80%	Entre 10 a 30 Días hábiles.	Alta facilidad de adquisición sin restricciones de comercialización mayor costo (solventes no controlados por estupefacientes)	1 – 3 Años	Entre 70 y 90 US\$ y entre 30 y 50 US\$	Banco lechoso
5	Disponibilidad de Compra en Colombia directamente con el fabricante en la ciudad de Bogotá	80 - 100%	Menor a 10 Días hábiles.	Alta facilidad de adquisición sin restricciones de comercialización bajo costo (Agua)	> 3 años.	Entre 50 y 70 US\$.	Transparente sin brillo

Como cada parámetro tiene una importancia diferente, se asigna el peso a cada factor. En la Tabla 4 se muestra el peso asignado a cada parámetro de selección, este porcentaje fue asignado de acuerdo a las necesidades que tiene la empresa promotora. para Conalmin lo primordial es que la materia prima se encuentre constantemente disponible y que el tiempo de entrega sea el menor posible debido a que maneja baja materia prima en stock, posteriormente en índice de importancia se tiene el costo y color puesto que el costo de la materia prima se encuentra directamente unido con el precio del producto final además si el agente hidrofugante presenta color puede afectar el aspecto natural de la piedra causando brillos o cambios de color del sustrato, lo que afectaría enormemente la calidad del producto final por ultimo Conalmin le asigna una menor importancia a la concentración del agente activo, vida útil y a la facilidad de adquisición del disolvente de acuerdo a la justificación de la Tabla 4.

Tabla 4. Peso asignado a cada parámetro.

Parámetro	Ponderación	Justificación
Disponibilidad	20%	Se le asigna este porcentaje dado que la disponibilidad de la materia prima es fundamental para la elaboración continua del hidrófugo además Conalmin maneja mínimas cantidades en Stock por lo que se necesitaría realizar una compra mensual de materia prima siendo necesario que la materia prima se encuentre constantemente disponible.
Concentración del agente activo	10%	La concentración inicial es un parámetro no tan fundamental, si bien a mayor concentración mejor penetración en el sustrato se deben tener en cuenta otros factores como el tamaño de partícula del agente hidrofugante y tamaño del poro del sustrato por esta razón se asignó un bajo porcentaje de importancia.
Tiempos de entrega	20%	Se considera un criterio relevante dado que es fundamental para el cumplimiento de la producción propuesta por Conalmin además como se dijo anteriormente no se maneja stock de materia prima o es mínimo siendo fundamental la compra de contante de materia prima siendo el tiempo de entrega un parámetro fundamental para el cumplimiento de la producción.
Facilidad de adquisición de Disolventes	10%	Se asigna este porcentaje debido a que Conalmin desea que la facilidad de compra del disolvente sea alta y que no sea una sustancia controlada por estupefacientes sin embargo no se considera indispensable y en tal caso que se obtengan buenos resultados experimentales y la sustancia sea controlada por estupefacientes se puede adquirir el certificado de carencia.
Vida útil de la materia prima	10%	Se busca que la materia prima tenga una buena vida útil, sin embargo, no se considera un parámetro crucial para el proceso por lo que se manejan bajas cantidades de stock y que el producto terminado se aplica casi inmediatamente después de la venta.
Costo (kg)	15%	Se asigna este porcentaje porque el costo de la materia prima es indispensable para establecer el precio de venta a empresa patrocinadora no busca la que sea muy costosa, pero tampoco muy económica, para así obtener un producto que sea competitivo para los precios del mercado.
Color	15%	se considera un parámetro importante porque el color del agente hidrofugante puede afectar el aspecto de la piedra causando alteraciones visuales del sustrato, lo que se quiere evitar por completo, por esta razón se asignó este porcentaje.

Luego, se procedió a asignar los valores para cada una de las 10 materias primas seleccionadas y encontrar sus respectivos factores ponderados con ayuda de la siguiente fórmula: (Ver Ecuación 2).

Ecuación 2. Cálculo de los factores.

$$\text{Factor ponderado} = \sum \text{valor por parámetro} * \text{ponderación del parámetro}$$

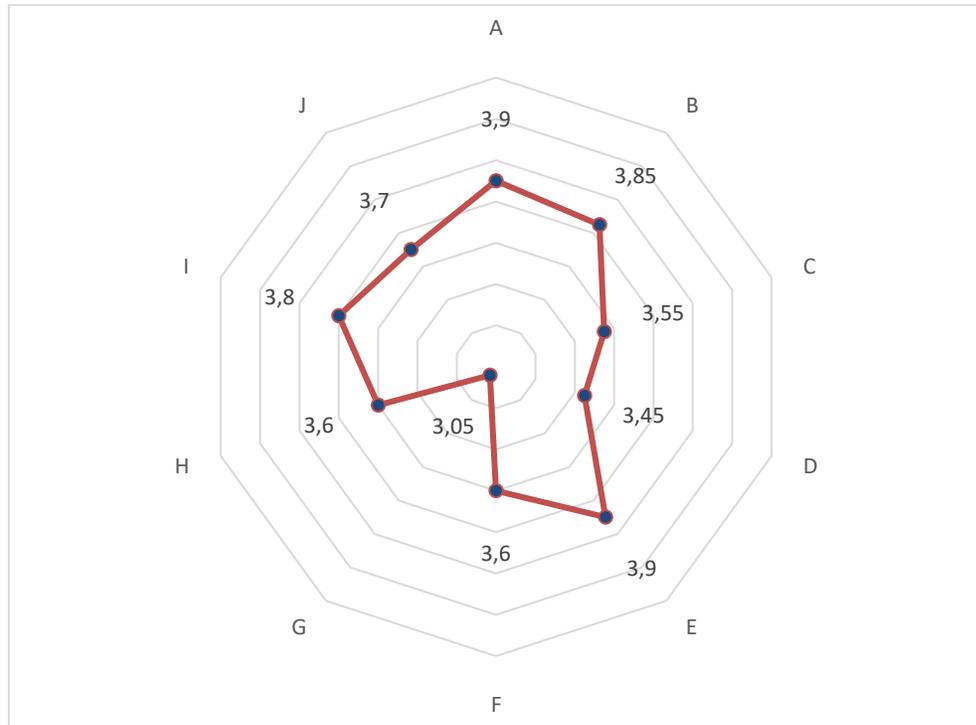
En la Tabla 5 se muestran los valores asignados para cada agente hidrófugo.

Tabla 5. Valores asignados para cada agente hidrófugo.

Materia Prima	Disponibilidad	Concentración inicial	Tiempos de entrega	Facilidad de adquisición de disolvente.	Vida útil	Costo	Color
A	4	3	5	5	4	2	4
B	4	5	5	4	4	2	3
C	4	3	4	5	4	2	3
D	4	0	4	4	4	4	3
E	4	2	5	5	5	1	5
F	4	2	4	5	4	3	3
G	4	5	1	4	4	2	3
H	3	1	4	5	4	3	5
I	3	4	4	3	5	5	3
J	3	2	4	5	4	3	5

Luego de aplicar la Ecuación 2 a los valores contenidos en la Tabla 5, se encuentran los factores obtenidos para cada una de las 10 materias primas para el agente hidrófugo; estos resultados se pueden apreciar en la Figura 2.

Figura 2. Factores obtenidos para cada agente hidrófugo



En la figura anterior se observa que las MP que obtuvieron los mayores promedios ponderados son las catalogadas con las letras B, E y A; las materias primas con menores factores ponderados son la D, C y F. Por tal motivo, los ensayos de selección del agente hidrofugo se realizan con las materias primas A, B y E; cuyas características se encuentran identificadas en la Tabla 6.

Tabla 6. Características de los tres agentes hidrófugos seleccionados

Materia Prima	Tipo	Estado
A	Mezcla Silano/siloxano	Líquido
B	Mezcla Silano/siloxano	Líquido
E	Fluorocarbonado	Líquido

**2.3.4 Selección del disolvente para agentes hidrófugos A, B y E.** Dada la gran variedad de solventes que se pueden encontrar en el mercado se deciden los solventes a utilizar de acuerdo a la naturaleza del hidrófugo seleccionando así el disolvente recomendado por el proveedor en su ficha técnica.

Para las materias primas A y E, que son de tipo mezcla Silano/Siloxano y Fluorocarbonado respectivamente, estas MP son solubles en agua, como el agua de grifo contiene sales y estas pueden probar un mayor daño sobre el sustrato se

decide utilizar agua desionizada como disolvente dado que es el único solvente que proporciona al hidrófugo las propiedades de hidrorepelente con la formación de grupos SiOH para el caso de la MP A, y la formación de grupos FC para la MP E.

Por otro lado, para el agente hidrófugo B, que es un compuesto de tipo mezcla Silano/Siloxano y por su naturaleza se debe utilizar solventes orgánicos como Thinner, Xilol o Alcohol anhidro. El mayor solvente utilizado es el Thinner debido a su bajo costo además que presenta una estabilidad con la MP; sin embargo, según las fichas técnicas del agente B se recomienda el uso de Xilol o de Alcohol anhidro porque presenta una mejor penetración en el sustrato y menor tiempo de secado. Por lo anterior, el solvente seleccionado para la elaboración del hidrófugo con el agente B es el Alcohol Anhidro.

Con la selección de los disolventes para las MP A, B y E, se cierra el capítulo de selección de materias primas. En el siguiente aparte se mostrarán los métodos de experimentación para el desarrollo del hidrorepelente para piedras areniscas y mármol.

### 3. DESARROLLO EL HIDROREPELENTE

El desarrollo del hidrorrepelente para rocas areniscas y mármol se realiza en las instalaciones de Conalmin S.A.S. En este capítulo se muestra el desarrollo experimental que se compone de dos etapas, la primera en donde se realizan las pruebas en el sustrato sin hidrófugo (blanco), y una segunda parte en donde se realizan los ensayos con cada una de los agentes hidrófugos, adicionalmente se muestran los resultados obtenidos y sus respectivos análisis, para finalmente seleccionar, por la metodología de multicriterios, la mejor solución hidrófuga para cada uno de los 4 sustratos escogidos (piedra muñeca, piedra blanca, mármol negro san gil y mármol café caracol).

#### 3.1 PRUEBAS DEL HIDRÓFUGO

Para determinar el agente hidrofugo y la concentración a utilizar en el protector se establece una serie de pruebas cuantitativas y cualitativas. Se realizaron pruebas de ángulo de contacto, absorción de agua, tubo de Karsten, erosión química y resistencia al manchado se seleccionaron este tipo de pruebas porque son ensayos que permiten medir la hidrofobicidad y comportamiento frente a sustancias líquidas, además autores como Carranza<sup>40</sup> y Galindo<sup>41</sup> utilizan este tipo de ensayos para determinar agentes hidrófugos y concentraciones para diferentes sustratos.

En primer lugar, se somete a las pruebas el sustrato sin tratar esto con el fin de determinar los valores en blanco; posteriormente se evalúa las mismas pruebas con el sustrato tratado con los diferentes agentes hidrófugos y concentraciones.

---

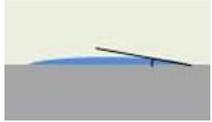
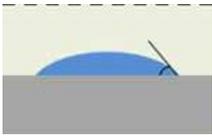
<sup>40</sup> CARRANZA, Sebastián; ECHEVERRY, María. Op. cit.

<sup>41</sup> GALINDO, Ana; GARCÍA, Nicolás. Op. cit.,

**3.1.1 Ángulo de contacto.** El efecto gota se mide por medio del ángulo de contacto<sup>42</sup> este ángulo es el que forma una gota líquida al estar en contacto con el sustrato, permite determinar la capacidad hidropelente de materiales y productos<sup>43</sup> este indica la mojabilidad de una superficie sólida por un líquido determinado, el valor del ángulo de contacto depende de diferentes factores como el líquido utilizado, el sustrato, la rugosidad del sustrato, las fuerzas adhesivas entre el líquido y el sólido y, las fuerzas cohesivas del líquido El valor obtenido esta dado en grados (°) .

La prueba del ángulo de contacto se puede realizar con diferentes líquidos, al ser realizado con aceite se denominan superficies oleófilas y oleófobas. En la Tabla 7 se muestran los posibles ángulos que se pueden obtener a partir de la prueba de ángulo de contacto.

Tabla 7. Ángulos posibles para la prueba de ángulo de contacto

Ángulo	Tipo de sustrato	Representación del Ángulo
$\theta < 10^\circ$	Súper hidrófilo	
$10^\circ < \theta < 90^\circ$	Hidrófilo	
$90^\circ < \theta < 120^\circ$	Hidrófobo	
$120^\circ < \theta$	Súper hidrófobo	

<sup>42</sup> Wacker. SILRES® BS su especialista en Hidrofobicidad, s.f. Disponible en Internet: <http://studylib.es/doc/5165365/silres%C2%AE-bs-su-especialista-en-hidrofobicidad>

<sup>43</sup> RODRÍGUEZ, J.; DURÁN SUÁREZ, J.; GARCÍA, A, Determinación de la penetrabilidad de consolidantes y protectores en rocas. Un nuevo método . 2000. Revista Materiales de Construcción. vol. 50, no. 260, p. 16

El ángulo de contacto medido en la experimentación de este proyecto corresponde al promedio de los ángulos de contacto obtenidos por una gota de agua desionizada sobre el mismo sustrato proceso realizado por Carranza<sup>44</sup> quien 24 horas después de haber tratado los sustrato deja caer tres gotas de agua desionizada y 5 minutos después mide ángulo de contacto y posteriormente promedia para lograr dar una calificación a la prueba este proceso se realiza con el fin de determinar el grado de resistencia a la penetración de agua de los sustratos tratados con las diferentes agentes hidrofugantes, para la determinación del ángulo de contacto se utilizó el método de la tangente en donde el perfil completo de la gota se ajusta a una ecuación general de una sección cónica<sup>45</sup>.

En el presente proyecto, el ángulo de contacto se midió dejando caer tres gotas sobre el sustrato y por medio de fotografías de cada gota trazar los ejes correspondientes sobre la imagen dando el valor del ángulo generado sobre la superficie del sustrato utilizando el programa GeoGebra 5.0. los datos obtenidos para el blanco se muestran en la Tabla 8 y los resultados completos se encuentran detallados en el anexo C.

**3.1.2 Absorción de agua.** Existen diferentes métodos para determinar la absorción de agua como lo es la ASTM C 97, ASTM C 127 y UN-E 7061:1953 procesos mediante los cuales se mide la diferencia de peso antes y después de sumergir el sustrato en agua para determinar la absorción. Entre menor sea la absorción de agua, mejor funcionará el hidrófugo.

Para determinar la absorción de agua se realizó mediante el procedimiento establecido en la ASTM C97<sup>46</sup> midiendo la masa del toceto previamente secado durante 48 horas en un horno temperatura de 110 ° C y enfriado durante 30 minutos en un desecador, posteriormente se sumerge el sustrato en agua de grifo durante un periodo de 24 horas, se mide la masa antes del proceso de sumergido y una vez se retira del agua determina el % de absorción utilizando la siguiente fórmula: (Ver Ecuación 3)

---

<sup>44</sup> CARRANZA, Sebastián; ECHEVERRY, María. Op. cit., p. 50.

<sup>45</sup> RODRIGUEZ, Alvaro. Estudio del ángulo de contacto y de la mojabilidad a alta temperatura de fases líquidas en la sinterización de metales. Universidad Carlos III de Madrid. España, 2010.

<sup>46</sup> ASTM International. ASTM C 97 -02 Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone.2002.

### Ecuación 3. Porcentaje de absorción

$$\left( \frac{m_{t_{\text{despues de 24h}}} - m_{t_{\text{antes de sumergir}}}}{m_{t_{\text{antes de sumergir}}}} \right) * 100 = \% \text{ absorción}$$

Dónde  $m_{t_{\text{despues de 24h}}}$  es masa del toceto después de 24 horas y  $m_{t_{\text{antes de sumergir}}}$  es la masa del toceto antes de sumergir en agua.

**3.1.3 Tubo de Karsten.** La penetración del agua en el sustrato se mide mediante un método no destructivo desarrollado en los años sesenta, este método se emplea desde hace más de 40 años en Europa y en Estados Unidos<sup>47</sup>; Se mide la cantidad de agua absorbida a baja presión por una superficie porosa después de un tiempo determinado<sup>48</sup> este determina la velocidad de absorción en los sustratos mediante el uso de una probeta o tubo de Karsten.

El tubo de Karsten consiste en un tubo graduado de vidrio transparente, con base circular de 2,5 cm de diámetro, calibrado en mililitros (mL), 1 mL equivale a 1 cm de altura de columna de agua de grifo, este tubo ha sido diseñado para simular condiciones de agua lluvia<sup>49</sup> mediante la siguiente ecuación: (Ver Ecuación 4), donde  $V$  es la velocidad del viento en m/s y  $q$  es presión en  $\text{kN/m}^2$ .

### Ecuación 4. Simulación de condiciones de lluvia con el tubo Karsten

$$V = (1.600 * q)^{0,5}$$

El tubo se fija al sustrato mediante el uso de una masilla plástica y posteriormente se llena con agua de grifo a una altura de 5 cm ejerciendo una presión equivalente a la ejercida por la lluvia y vientos a una velocidad de 100 km/h, a pesar de que la velocidad promedio del viento en Bogotá es de 30 km/h, se elige la altura de 5 cm para simular condiciones extremas. Se toma el nivel cada 5 minutos durante un periodo de 15 minutos. El ensayo se realizó siguiendo la recomendación de la RILEM N°. II. 4<sup>50</sup> midiendo directamente en la escala graduada de la pipa la cantidad de agua absorbida a distintos intervalos de tiempo, los resultados se

<sup>47</sup> GALINDO, Ana; GARCÍA, Nicolás. Op. cit. P 105

<sup>48</sup> CARMONA, Paula M. Estudio del comportamiento de dos tratamientos antigraffiti como protectores de materiales de construcción: interacción antigraffiti-sustrato, propiedades y durabilidad. Universidad complutense de Madrid (España). 2010.p.78.

<sup>49</sup> WAGNER, Carlos. El tubo de Karsten, 2000. 48-49 p. Disponible en Internet: <<https://es.scribd.com/document/137751391/Pipeta-Karsten>>

<sup>50</sup> AMT-LABORATORIES. water absorption tube test RILEM II.4, 2006. Disponible en Internet: <<http://www.amt-labs.com/docs/RILEM%20II.4%20Test%20Method.pdf>>

presentan en mL/h; se muestran en la Tabla 8 los resultados para el blanco y los resultados completos se encuentran detallados en el anexo C.

**3.1.4 Erosión química.** Mediante esta prueba se mide el comportamiento del sustrato cuando es expuesto a sales durante un tiempo determinado. Esta operación se realiza de forma continua y se fundamenta en inducir la solubilización y cristalización de una sal sobre el toceto.

De acuerdo al procedimiento expuesto por Espinoza y Villegas<sup>51</sup> la cara tratada del sustrato es sumergida en sulfato sólido al 10% durante un periodo de 24 horas y luego es secada a temperatura ambiente la que equivale para el municipio de Sibaté a 13.5 °C.<sup>52</sup> Durante el mismo tiempo se toman las masas antes del proceso de sumergida y después de pasadas 24 horas; este proceso se repite 3 ciclos más.

Se utiliza sulfato sódico dado a que esta sal posee un elevado volumen molecular, se puede cristalizar en forma hidratada hasta con 10 moléculas de agua, por tanto, aumenta su volumen un 300% en comparación con la sal anhidra, esto produce que se puedan simular las tensiones en el interior del sustrato y por ende las cristalizaciones.<sup>53</sup>

Teniendo en cuenta que esta prueba busca determinar si existe o no cristalización por sales, fisuras, agrietamiento o manchado en el sustrato se asigna un valor de 0 cuando no existe cambios visuales en el sustrato y de 1 cuando si existen.

---

<sup>51</sup> ESPINOZA, Jesus; VILLEGAS, Rosario. La investigación científica aplicada a la caracterización de materiales y la selección de tratamientos de conservación. Dossier: La puerta de Córdoba. 2000. 129 p

<sup>52</sup> CLIMATE-DATA.ORG.Clima:Sibate, 2018. Disponible en Internet: <<https://es.climate-data.org/location/49847/>>

<sup>53</sup> ALCALDE, Manuel ; VILLEGAS, Rosario. Op.cit., p. 66

**3.1.5 Resistencia al Manchado.** La resistencia al manchado se realiza con el fin de determinar si el hidrófugo formulado permite una alteración en el sustrato tratado, para esta prueba se deposita una gota de tinto, de vino tinto, de Coca-Cola, de aceite y de agua, se usaron estas sustancias siendo estas las que principalmente causan manchas a las piedras naturales que son instaladas dentro de cocinas además se observa la selección de sustancias similares por GRAMAR<sup>54</sup> al realizar la prueba de resistencia al manchado para la determinación de la calidad de sus protectores hidrófugos.

Para la determinación de la resistencia al manchado se realiza de acuerdo a la norma europea UNE-EN 16301<sup>55</sup> la cual permite evaluar la resistencia a las manchas en productos de piedra natural, lo que puede ser útil para seleccionar una piedra de acuerdo con su aplicación, en espacios expuestos a salpicaduras: cocinas, cafeterías, baños, etc., mediante este procedimiento se deja caer una gota de las sustancias manchantes dejando secar a temperatura ambiente equivalente en promedio para el municipio de Sibaté a 13.5 °C. <sup>56</sup> durante 4 horas y posteriormente se retira utilizando un paño húmedo y se observan los cambios en sustrato.

Esta prueba es un ensayo cualitativo, visual, dado que el sustrato tratado con hidrófugo debe mantener esas características naturales y no debe permitir alteraciones producidas por agentes utilizados en la cotidianidad.

Durante el presente proyecto se asigna a los resultados un valor entre 1 y 5, siendo 5 la mejor calificación dado que no se manchó el sustrato y no se muestran cambios sobre el sustrato y siendo 1 la peor calificación dado que se manchó el toceto y se observa un cambio severo.

## **3.2 DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES DEL AGENTE HIDROFUGANTE**

Para la obtención del producto final es necesario la experimentación sobre los sustratos, se emplearon diferentes agentes hidrofugantes para cada materia prima,

---

<sup>54</sup> GRAMAR. Consideraciones para tratamientos de protección de mesones en piedra natural. 2016. Disponible en Internet: < [https://www.grammar.com/documents/gt-consideraciones-para-tratamientos-de-proteccion-de-mesones-en-piedra-natural\\_.pdf](https://www.grammar.com/documents/gt-consideraciones-para-tratamientos-de-proteccion-de-mesones-en-piedra-natural_.pdf) >

<sup>55</sup> UNE-EN 16301:2014, Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la sensibilidad a las manchas accidentales.

<sup>56</sup> CLIMATE-DATA.ORG.Clima:Sibate, 2018. Op. cit.

siendo los agentes hidrofugantes denominados MP A, MP B y MP E, las concentraciones para cada agente hidrofugante es la recomendada por el fabricante, tomando los valores extremos de dilución sugeridos en la ficha técnica

**3.2.1 Determinación materia prima A.** La materia prima A. es una mezcla de Silano y siloxano soluble en agua, es una emulsión no iónica de silano-siloxano al 40%. Los silanos son conocidos por su habilidad para impregnar y reaccionar químicamente con la mampostería o materiales a base de cemento, y por proporcionar hidrofobicidad y reducir la entrada de agua en los materiales tratados. su estructura molecular es pequeña permitiendo que los Silanos se adhieran fácilmente al sustrato, permitiendo un tratamiento duradero. El proveedor sugiere realizar diluciones entre 4 y 10%.

**3.2.2 Determinación materia prima B.** La materia prima B. es una mezcla de Silano y siloxano soluble en solventes orgánicos, el producto mezclado penetrará y proporcionará impermeabilización al reaccionar químicamente con el sustrato. Los sustratos tratados son hidrófobos y mantienen su aspecto original. Gracias a la presencia de un catalizador puede utilizarse tanto sobre sustratos neutros como alcalinos como lo son el ladrillo, piedras areniscas, hormigón y mortero, a una concentración entre el 5 y 20%.

**3.2.3 Determinación materia prima E.** La materia prima E es un fluorocarbonado soluble en agua, uso ideal en sustratos porosos como piedras, azulejos, hormigón y ladrillo. Proporciona una barrera protectora transparente no formadora de película, se puede aplicar con un cepillo, trapeador, rodillo o pintura, almohadilla, no se debe rociar, su proveedor recomienda su uso a una concentración entre el 5 y 25%.

### **3.3 NÚMERO DE EXPERIMENTOS**

La experimentación para encontrar el mejor agente hidrofugante y la mejor concentración para piedra muñeca, piedra blanca, mármol negro y mármol café, se realiza en dos etapas. Una primera etapa en donde se evalúa cada sustrato sin agente hidrofugante, y una segunda etapa en donde se evalúan los sustratos descritos en el numeral 2.2 con cada uno de los agentes hidrofugantes (MP A, B y E) a las dos concentraciones mínimas y máximas recomendadas por el fabricante descritas en el numeral 3.2. .

**3.3.1 Número de experimentos primera Etapa.** Como se ha mencionado con anterioridad, en la primera etapa se realizan las 5 pruebas anteriormente mencionadas (Ángulo de contacto, absorción de agua, tubo de Karsten, erosión química y resistencia al manchado) en cada uno de los sustratos en blanco, es decir, sin agregar algún tipo de hidrófugo.

Para determinar el número de ensayos de esta primera parte se multiplica el número de sustratos a evaluar (4) y el número de pruebas a realizar (5), para un total de 20 experimentos; adicionalmente se realizaron 2 réplicas por cada ensayo, obteniendo así un total de 60 ensayos.

**3.3.2 Número de experimentos segunda etapa.** En la segunda parte experimental se evalúa cada agente activo en las dos concentraciones anteriormente indicadas para cada uno de los sustratos mediante la realización de las 5 pruebas contenidas en el numeral 3.1.

se realizan un total 360 ensayos que fueron determinados por la multiplicación del número de agentes hidrofugantes (3) por el número de concentraciones evaluadas por cada agente hidrofugante (2) por el número de pruebas realizadas (5) que son ángulo de contacto, absorción de agua, tubo de Karsten, erosión química y resistencia al manchado adicionalmente el valor obtenido se multiplica por 4 dado el número de sustratos manejados en el proyecto dando 120 experimentos, además se realizan 2 réplicas para cada experimento para obtener un total de 360 experimentos.

### **3.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Los resultados de la parte experimental se presentan en dos partes de acuerdo a las etapas de experimentación explicadas con anterioridad; en el numeral 3.3 del presente documento se presentan los respectivos análisis de resultados para los datos obtenidos.

**3.4.1 Resultados y análisis de resultados primera etapa.** En la primera parte experimental, donde se evaluaron los blancos con las 5 diferentes pruebas, se encontraron los siguientes resultados: (Ver Tabla 8)

Tabla 8. Resultados obtenidos para los sustratos en blanco

		Sustrato 1 piedra muñeca blanco	Sustrato 2 piedra blanca blanco	Sustrato 3 mármol negro blanco	Sustrato 4 mármol café blanco
<b>Angulo de contacto (ángulo-grados)</b>	<b>R1</b>	7,05	14,75	24,81	33,16
	<b>R2</b>	8,21	14,99	27,09	33,65
	<b>R3</b>	10,04	13,82	31,13	33,94
<b>Absorción de agua (%)</b>	<b>R1</b>	6,18	5,11	0,32	0,20
	<b>R2</b>	5,81	5,21	0,32	0,26
	<b>R3</b>	6,02	5,01	0,38	0,24
<b>Tubo karsten (mL/h)</b>	<b>R1</b>	4,80	4,90	0,80	0,70
	<b>R2</b>	4,20	5,00	0,80	0,70
	<b>R3</b>	4,10	4,80	0,70	0,70
<b>Erosión química</b>	<b>R1</b>	1,00	1,00	1,00	1,00
	<b>R2</b>	1,00	1,00	1,00	1,00
	<b>R3</b>	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Manchado</b>	<b>R1</b>	1,00	1,00	3,00	2,00
	<b>R2</b>	1,00	1,00	3,00	2,00
	<b>R3</b>	1,00	1,00	3,00	2,00

Se observa que los resultados obtenidos para los sustratos en blanco en la prueba de ángulo de contacto son muy bajos lo que indica que la superficie tiene un potencial de adhesión elevado<sup>57</sup> debido al bajo valor del ángulo de contacto muestra que la piedra muñeca es una superficie superhidrofila y la piedra blanca, mármol negro y mármol café son superficies hidrófilas de acuerdo al ángulo obtenido y al ser comparado con la Tabla 7, se observa una diferencia significativa al medir el ángulo de contacto en el mármol negro teniendo en cuenta que el método de medición del ángulo es matemáticamente preciso, pero es sensible a distorsiones en la zona de contacto debido a contaminantes o irregularidades en la superficie de la muestra<sup>58</sup>, se observa en este sustrato presenta una variedad de vetas y fósiles además de un acabado poco uniforme midiendo ángulos de contacto diferentes para cada replica.

En cuanto a la prueba de absorción de agua se observa que los resultados son muy similares entre réplicas para cada uno de los sustratos la piedra muñeca presenta mayor absorción de agua, posteriormente la piedra blanca, seguido por el mármol

<sup>57</sup> THIERRY. Mediciones de ángulo de contacto, sf. Disponible en Internet: < <https://www.thierry-corp.com/mx/plasma/conceptos-fundamentales/angulos-de-contacto> >

<sup>58</sup> RODRIGUEZ, Alvaro. Op. cit. p 65.

negro y por último el mármol café, esto se debe a la composición química de cada piedra y tamaño de poro existente en el sustrato, para la prueba de tubo de Karsten se observa el valor más elevado en la piedra blanca, lo que indica que esta es más sucesible a presentar absorción de agua por lluvias, posteriormente se encuentra la piedra muñeca, el mármol negro y el mármol café. La prueba de erosión química muestra que en todos los sustratos y en todas las corridas realizadas de esta prueba hay presencia de erosión química o alguna alteración física para los sustratos creándose manchas blancas para las piedras areniscas y pequeñas fisuras para el mármol, en la experimentación, se empieza a observar aproximadamente al tercer día de ser sometidos los sustratos a sulfato de sodio. La prueba de manchado muestra los mismos resultados entre réplicas para el mismo sustrato, obteniendo un menor manchado en mármol negro y alto manchado en piedra muñeca y piedra blanca lo que quiere decir que las piedras areniscas son altamente susceptibles al manchado a diferencia del mármol que si presenta mancha, pero no es tan significativo como en las piedras areniscas.

**3.4.2 Resultados y análisis de resultados segunda etapa.** Luego de realizar la determinación y elaboración de las concentraciones con los 3 agentes hidrófugos seleccionados y de realizar las 5 pruebas explicadas en el numeral 3.1 de este documento, se presentan los resultados para la segunda etapa de experimentación.

Estos resultados se presentan por piedra dado que la finalidad es encontrar el mejor agente hidrofugante para cada tipo especial de piedra.

Cada prueba se realizó 3 veces y se analizaron los datos con el valor promedio obtenido entre los tres datos de acuerdo al procedimiento realizado por Carranza y Echeverry<sup>59</sup>. Los datos para cada una de las pruebas y sus réplicas se encuentran en el anexo C.

---

<sup>59</sup> CARRANZA, Sebastián; ECHEVERRY, María. Op. cit.

**3.4.2.1 Sustrato 1: Piedra muñeca.** En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos para los diferentes agentes hidrófugos y sus concentraciones al ser aplicado sobre la piedra muñeca. En ellos se observa que el mayor ángulo de contacto obtenido es para la MP E a una concentración del 25% con un valor de 130,71°, y el menor ángulo de contacto obtenido es para la MP A al 4% con un valor de 34,24° para las materias primas A y B se observa que el ángulo de contacto aun es menor a 90° por lo que se consideran superficies hidrofílicas, para la MP E en sus concentraciones el ángulo de contacto es mayor a 90° por lo que la superficie tratada se convierte en hidrofóbica, al comparar el ángulo de contacto del sustrato sin tratar y el mayor ángulo de contacto obtenido se observa que este aumenta 15 veces mostrando un incremento de la hidrofobicidad al aplicar el tratamiento .

En cuanto a la absorción de agua el mejor resultado obtenido es para la MP E al 25% con un valor de 1,06% y el peor para la MP A al 4% con una absorción de agua de 2,71% lo que quiere decir que la MP E al 25% absorbió menor cantidad de agua en el periodo de 24 h y la MP A al 4 % absorbió una mayor cantidad , al comparar estos valores con los resultados obtenidos con el blanco se puede ver que disminuyó la absorción del sustrato sin tratar; el tubo de Karsten obtuvo los mejores resultados para simulación extrema de lluvia con la MP E en sus diferentes concentraciones con un valor de 0,20 mL/h y el peor resultado con la MP A al 4% con un valor de 2,63 mL/h se observa que para esta prueba la MP A al 4% disminuyó la absorción en un 38% y que la absorción con la MP E al 25% disminuyó en un 95%, a pesar que todos los agentes hidrofugantes disminuyen la absorción el mejor desempeño para esta prueba lo presenta la MP E al 25%.

Adicionalmente se observa que para la MP A al 4% se presenta alta erosión química con un índice de 1, y no muestra cambio significativo con los daños presentadas por el sustrato sin tratar, posteriormente se encuentra la MP B al 20% disminuyendo las erosiones en un 33%, seguido por las MP E al 25% y MP A al 10% disminuyendo las erosiones en un 67% y por último los sustratos tratados con la MP B al 5% y MP E al 5% en donde no se presentan daños a los sustratos luego de realizados los tres ciclos de inmersión en sulfato de sodio.

En cuanto al manchado, la MP que obtuvo los mejores resultados fue la MP B al 20% en donde no presentó manchado del sustrato por ninguna de las sustancias obteniendo una calificación de 5, posteriormente la MP B al 4% presenta unas pequeñas manchas obteniendo una calificación de 4, la MP E en sus concentraciones obtiene una calificación de 3 dejando marcas de las diferentes sustancias y por último la MP A presenta mayor manchado en los sustratos

obteniendo la calificación más baja de 2,33 sin embargo con todos los agentes hidrófugos se presenta una disminución del manchado al ser comparados visualmente con el sustrato sin tratar.

Tabla 9. Resultados para la piedra muñeca

		Ángulo De Contacto (Grados)	Absorción De Agua (%)	Tubo Karsten (mL/h)	Erosión Química	Manchado
Sustrato 1 PIEDRA MUÑECA	MP A [4%]	34,24	2,71	2,63	1,00	2,33
	MP A [10%]	62,88	2,33	2,13	0,33	2,33
	MP B [5%]	82,87	2,60	0,50	0,00	4,00
	MP B [20%]	86,87	2,03	0,30	0,67	5,00
	MP E [5%]	117,81	1,10	0,20	0,00	3,00
	MP E [25%]	130,71	1,06	0,20	0,33	3,00

**3.4.2.2 Sustrato 2: Piedra blanca.** La Tabla 10 muestra los resultados para los diferentes agentes hidrófugos y sus concentraciones al ser aplicados en la piedra blanca. Se observa que el mayor ángulo de contacto obtenido es para la MP E realizado a una concentración del 25% con un Ángulo de 129,99°, y el menor ángulo de contacto obtenido es para la MP A al 4% con un valor de 54°. para las materias primas A y B al 4% se observa que el ángulo de contacto aun es menor a 90° por lo que se consideran superficies hidrofílicas, para la MP B al 20% y las MP E en sus concentraciones el ángulo de contacto es mayor a 90° por lo que la superficie tratada se convierte en hidrofóbica, al comparar el ángulo de contacto del sustrato sin tratar y el mayor ángulo de contacto obtenido se observa que este aumenta 9 veces mostrando un incremento de la hidrofobicidad al aplicar el tratamiento .

En cuanto a la absorción de agua, el mejor resultado obtenido es para la MP E al 5% con un valor de 1,10% y el peor para la MP A al 4% con un valor de absorción de agua de 2,60% lo que quiere decir que la MP E al 5% absorbió menor cantidad de agua en el periodo de 24 h y la MP A al 4 % absorbió una mayor cantidad , al comparar estos valores con los resultados obtenidos con el blanco se puede ver que disminuyó la absorción del sustrato sin tratar; el tubo de Karsten obtuvo los mejores resultados para simulación extrema de lluvia con la MP E al 5% con un valor de 0,20 mL/h y el peor resultado con la MP A al 4% con un valor de 2,40 mL/h. se observa que para esta prueba la MP A al 4% disminuyó la absorción en un 48% y que la absorción con la MP E al 25% disminuyó en un 96%, a pesar que todos los agentes hidrofugantes disminuyen la absorción el mejor desempeño para esta prueba lo presenta la MP E al 25%.

Adicionalmente se observa que para la MP A al 4% y MP E al 5% no se presenta el fenómeno de erosión química es decir no se generó cambios visuales luego de someter el sustrato al sulfato sodio por lo que obtiene una calificación de 0 y en las MP A al 10%, B al 5%, B al 20% y E al 25% se presenta pequeñas manchas y agrietamiento menores al sustrato sin tratar obteniendo una calificación de 0,33, al aplicar cualquier tratamiento se observa una disminución en la erosión química comparado con el sustrato sin tratar.

En cuanto al manchado, la MP que obtuvo los mejores resultados fue la MP B al 20% en donde se presentaron pequeñas manchas casi no notorias,, obteniendo una calificación de 4,67 posteriormente la MP B al 4% y MP E al 25% presentando unas pequeñas manchas más marcadas obteniendo una calificación de 3, la MP E al 5 % presenta manchas más notorias que las anteriores por lo que el promedio de su calificación es de 2,67 y por último la MP A presenta mayor manchado en los sustratos obteniendo la calificación más baja de 2, sin embargo con todos los agentes hidrófugos se presenta una disminución del manchado al ser comparados visualmente con el sustrato sin tratar.

Tabla 10. Resultados para la piedra blanca

		Ángulo De Contacto (Grados)	Absorción De Agua (%)	Tubo Karsten (mL/h)	Erosión Química	Manchado
<b>Sustrato 2 piedra blanca</b>	<b>MP A [4%]</b>	54,00	2,60	2,40	0,00	2,00
	<b>MP A [10%]</b>	73,28	1,75	2,27	0,33	2,00
	<b>MP B [5%]</b>	83,71	1,91	0,47	0,33	3,00
	<b>MP B [20%]</b>	94,69	1,36	0,23	0,33	4,67
	<b>MP E [5%]</b>	115,59	1,10	0,20	0,00	2,67
	<b>MP E [25%]</b>	129,99	1,11	0,23	0,33	3,00

**3.4.2.3 Sustrato 3: Mármol negro.** La Tabla 11 muestra los resultados obtenidos para los agentes hidrofugantes y sus concentraciones en mármol negro. En ellos se observa que el mayor ángulo de contacto obtenido es para la MP E a una concentración del 25% con un valor de 100,30°, y el menor ángulo de contacto obtenido es para la MP A al 4% con un valor de 51,92° para las materias primas A y B se observa que el ángulo de contacto aun es menor a 90° por lo que se consideran superficies hidrofílicas, para la MP E en sus concentraciones el ángulo de contacto es mayor a 90° por lo que la superficie tratada se convierte en hidrofóbica, al comparar el ángulo de contacto del sustrato sin tratar y el mayor ángulo de contacto obtenido se observa que este aumenta 4 veces mostrando un incremento de la hidrofobicidad al aplicar el tratamiento .

En cuanto a la absorción de agua el mejor resultado obtenido es para las MP E al 5% y al 25% con un valor de 0,00% y el peor para la MP B al 5% con una absorción de agua de 0,17% lo que quiere decir que la MP E no absorbió agua en el periodo de 24 h y la MP B al 5 % absorbió una mayor cantidad , al comparar estos valores con los resultados obtenidos con el blanco se puede ver que disminuyó la absorción del sustrato sin tratar; el tubo de Karsten obtuvo los mejores resultados para simulación extrema de lluvia con la MP E a las concentraciones de 5% y 25% con un valor de 0,00 mL/h para cada concentración lo que indica que en un periodo de una hora el sustrato no absorbió agua simulando condiciones de lluvia, mostrando un excelente resultado a esta prueba posteriormente se obtuvo la MP A al 10% y la MP B al 20% con un resultado de 0,1 mL/h lo que quiere decir que durante una hora la probeta bajo 0,1 ml mostrando una disminución significativa comparada con el sustrato sin tratar, los valores más alto fueron para la MP A al 4% y la MP B al 5% mostrando un valor de absorción de 0,37 mL/h y 0,3 mL/h respectivamente siendo estos agentes hidrófugos los que absorbieron mayor cantidad de agua por medio del tubo de Karsten siendo estos los peores resultados.

Adicionalmente se observa que para la MP A al 10% se presenta en mayor cantidad el fenómeno de erosión química obteniendo una calificación de 0,67, posteriormente la MP A al 4%, MP B al 5% y MP E en sus concentraciones presentan un valor de 0,33 es decir existió erosión química, manchado y daños por sales, pero no tan significativos como se aprecian con el sustrato sin tratar y en la MP B al 20% no se presenta visualmente erosión química obteniendo una puntuación de 0.

En cuanto al manchado, las MP que obtuvieron los mejores resultados fueron las MP B al 5%, B al 20% y E al 25% en donde no se presentó manchado sobre el sustrato con una calificación de 5,00 posteriormente se encuentra la MP E al 5%

presentando pequeñas manchas, luego la MP A con una calificación de 4 y la que obtuvo peores resultados fue la MP A al 4% con un valor de 3,67 presentando manchas notorias de aceite.

Tabla 11. Resultados para el mármol negro

		Ángulo De Contacto (Grados)	Absorción De Agua (%)	Tubo Karsten (mL/h)	Erosión Química	Manchado
Sustrato 3 mármol negro	MP A [4%]	51,92	0,08	0,37	0,33	3,67
	MP A [10%]	57,37	0,07	0,10	0,67	4,00
	MP B [5%]	71,92	0,17	0,30	0,33	5,00
	MP B [20%]	88,07	0,13	0,10	0,00	5,00
	MP E [5%]	92,62	0,00	0,00	0,33	4,67
	MP E [25%]	100,30	0,00	0,00	0,33	5,00

**3.4.2.4 Sustrato 4: Mármol Café.** En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos para los agentes hidrofugantes para mármol café. En ellos se observa que el mayor ángulo de contacto obtenido es para la MP E realizado a una concentración del 25% con un valor de 82,20°, y el menor ángulo de contacto obtenido es para la MP A al 4% con un valor de 48,85° para todas las materias primas se observa que al aplicar sobre el sustrato se incrementa el ángulo de contacto pero no lo suficiente para considerarse una superficie hidrofuga, sin embargo el mejor desempeño lo tiene la MP E al 25% incrementando el ángulo de contacto 3 veces mostrando un incremento de la hidrofobicidad al aplicar el tratamiento la MP A al 4% no muestra mejora considerable del ángulo de contacto incrementando solamente 15°.

En cuanto a la absorción de agua los mejores resultados obtenidos son para las MP E al 5 y al 25% con un valor de 0,00% y el peor para la MP B al 20% con una absorción de agua de 0,16% lo que quiere decir que la MP E no absorbió agua en el periodo de 24 h y la MP B al 5 % absorbió una mayor cantidad , al comparar estos valores con los resultados obtenidos con el blanco se puede ver que disminuyó la absorción del sustrato sin tratar;; el tubo de Karsten obtuvo los mejores resultados para simulación extrema de lluvia con la MP E a las concentraciones de 5% y 25% con un valor de 0,00 mL/h lo que indica que en un periodo de una hora el sustrato no absorbió agua simulando condiciones de lluvia, mostrando un excelente resultado a esta prueba posteriormente se obtuvo la MP A al 10% y la MP B al 20% con un resultado de 0,1 mL/h lo que quiere decir que durante una hora la probeta bajo 0,1 ml mostrando una disminución significativa comparada con el sustrato sin tratar, los valores más altos fueron para la MP A al 4% y la MP B al 5% mostrando

un valor de absorción de 0,30 mL/h y 0,27 mL/h respectivamente siendo estos agentes hidrófugos los que absorbieron mayor cantidad de agua por medio del tubo de Karsten siendo estos los peores resultados.

Adicionalmente se observa que para la MP B al 20% se presenta erosión química no presentando cambios significativos al ser comparado con el sustrato sin tratar, posteriormente esta la MP E al 5% con un valor de 0,67 presentando una pequeña disminución del daño ocasionado por las sales, luego se encuentra la MP A y MP B al 5% disminuyendo los daños un 67% presentando pequeñas manchas y fisuras, por último se observa que la MP E al 25% no presentó erosión química es decir no se evidenciaron daños al sustratos por las sales.

En cuanto al manchado, la MP que no presentaron manchado fueron la MP B al 5% junto con la MP B al 20% y la MP E al 25% con una calificación de 5,00, posteriormente se encuentra la MP E al 5% quien deja una pequeña mancha con el vino tinto, luego la MP A al 10% quien presenta de forma más visible la mancha de vino tinto y de Coca-Cola, por ultimas la MP A al 4% que obtuvo peores resultados fue la MP A al 4% con un valor de 3,67 prestando manchas altamente visibles de vino tinto y Coca-Cola.

Tabla 12. Resultados para el mármol café

		Ángulo de contacto (Grados)	Absorción de agua (%)	Tubo Karsten (ml/h)	Erosión química	manchado
<b>Sustrato 4 MÁRMOL CAFÉ</b>	<b>MP A [4%]</b>	48,85	0,06	0,30	0,33	3,67
	<b>MP A [10%]</b>	79,00	0,05	0,10	0,33	4,00
	<b>MP B [5%]</b>	69,75	0,08	0,27	0,33	5,00
	<b>MP B [20%]</b>	81,69	0,16	0,10	1,00	5,00
	<b>MP E [5%]</b>	83,25	0,00	0,00	0,67	4,67
	<b>MP E [25%]</b>	89,20	0,00	0,00	0,00	5,00

### 3.5 SELECCIÓN DEL AGENTE HIDRÓFUGO Y CONCENTRACIÓN

El objetivo de este aparte es la selección del mejor agente hidrofugante para cada sustrato evaluado; ésta se realiza mediante la metodología de multicriterios que se elabora cuando se deben tomar decisiones de selección con respecto a un determinado número de alternativas.

Se utiliza este método para la selección del agente hidrofugo debido a que los resultados obtenidos se encuentran en diferentes unidades, además al observar las tablas de los resultados en algunos casos es perceptible cual agente hidrofugo presenta mejor desempeño como es el caso de los resultados obtenidos para el mármol café en donde el 100% de las pruebas mostro un mejor desempeño con la MP E al 25%, pero para casos como el de la piedra muñeca se obtienen resultados similares para la MP E en sus diferentes concentraciones, no siendo fácil realizar la selección de manera visual.

Este método permite normalizar los datos debido a que cada prueba presenta unidades diferentes además se realiza la asignación de un porcentaje de importancia a cada criterio de acuerdo a las necesidades del producto.

Primero se procede a determinar los criterios de priorización, para este caso son cada una de las pruebas elaboradas a cada toceto o sustrato. En el Cuadro 3 se muestra los criterios utilizados para realizar la priorización que fueron definidos mediante discusiones realizadas entre la empresa patrocinadora y la autora del proyecto.

**Cuadro 3. Criterios de priorización**

Criterio	Unidades	Justificación – Valoración
Prueba Ángulo de contacto	Porcentaje (%)	Evaluación de prueba. Se busca que el valor del ángulo obtenido sea lo más grande posible dado que entre mayor sea el ángulo la superficie es más hidrofóbica
Prueba Absorción de Agua	Angulo (°)	Evaluación de prueba. Se busca que el % de absorción de agua sea lo menor posible porque entre menor sea la absorción significa que la superficie es más hidrofóbica
Prueba Tubo de Karsten	Mililitro hora (mL/h)	Evaluación de prueba. Se busca que la absorción de agua en mL/h sea lo menor posible dado que entre menor cantidad de agua sea absorbida la superficie es más hidrofóbica
Prueba Erosión Química	Si/No (0-1)	Evaluación de prueba. Se busca que no se presente erosión química al aplicar el agente hidrofugante que se va a escoger, por tanto, se busca que el valor tienda a cero (0)
Prueba de Manchado	Calificación (1 al 5)	Evaluación de prueba. Se busca que el hidrófugo que se escogerá no manche el sustrato, por tanto, se busca que al aplicar el hidrofugo no se presente manchado es decir que tenga la mayor calificación posible (de 1 a 5, siendo 5 la mayor)

Esta metodología consta de 4 pasos fundamentales: en primer lugar se realiza la definición de los criterios que se evaluarán, seleccionando las cinco pruebas

realizadas como los criterios siendo estas las descritas en el numeral 3.1, en segundo se realiza la experimentación y se muestran los resultados obtenidos los cuales se encuentran en el numeral 3.4 el tercer paso para la metodología multicriterio es la asignación de valores a cada uno de los criterios es decir le da una importancia a cada una de las pruebas seleccionadas asignando un porcentaje el cual se encuentra en el Cuadro 4 y por último se realiza la priorización en donde se normalizan los valores obtenidos y se utiliza la matriz de Richman para obtener una calificación o índice de priorización para cada agente hidrofugante.

Dado que todos los criterios son diferentes y los valores determinados por medio experimental para cada uno de ellos tienen unidades diferentes se debe realizar la homogenización de los valores; para este procedimiento los rangos de valores de se llevan a una escala comparable donde se le asigna un valor de 1 al valor más relevante y 0 al de menor relevancia (dependiendo de cada criterio). Luego de la asignación se procede a realizar una gráfica de función de transformación con el objetivo de homogenizar los valores entre el rango establecido [0,1] este procedimiento se realiza por medio de interpolación.

Se procede a obtener una calificación de cada criterio por medio de la asignación del peso de cada criterio y su posterior multiplicación al valor. La calificación final se obtiene por medio de la sumatoria de los resultados de cada criterio; de esta forma se obtendrán diferentes calificaciones para cada criterio. La Matriz de Richman (ver Tabla 13) muestra de forma resumida lo expuesto anteriormente.

Tabla 13. Forma de la Matriz de Richman

Criterio	Valor	Ponderación	Calificación
Criterio 1	Valor 1	Peso 1	$C1 = (\text{Valor } 1 \times \text{Ponderación } 1)$
Criterio 2	Valor 2	Peso 2	$C2 = (\text{Valor } 2 \times \text{Ponderación } 2)$
Criterio 3	Valor 3	Peso 3	$C3 = (\text{Valor } n \times \text{Ponderación } n)$
Total		$\sum 1$	$Ct = \sum Ci$

**3.5.1 Mejor agente hidrofugante para el sustrato 1: Piedra muñeca.** De acuerdo a los resultados presentados en el numeral 3.4.2.1 se realiza el procedimiento de multicriterios para encontrar el mejor agente hidrofugante y su concentración para ser utilizada en el sustrato piedra muñeca.

Se inicia con los datos presentados anteriormente en la Tabla 9, se asignan los valores más relevantes y menos relevantes; recordando asignar un valor de 1 al

valor más relevante y un valor de 0 al menos relevante, estos resultados para el sustrato Piedra muñeca se pueden apreciar en la Tabla 14.

Tabla 14. Relevancia para priorización de piedra muñeca

	Valor	Ángulo De Contacto (Ángulo)	Absorción De Agua (%)	Tubo Karsten (mL/h)	Erosión Química	Manchado
<b>Más Relevante</b>	1	130,71	1,06	0,20	0,00	5,00
<b>Menos Relevante</b>	0	34,24	2,71	2,63	1,00	2,33

Se procede a realizar las funciones de transformación para cada uno de los criterios evaluados, estas se pueden observar del Gráfico 1 al Gráfico 5.

Con las funciones de transformación, se interpola cada dato con los valores obtenidas de pendiente e intersección. En la Tabla 15 se muestran los datos normalizados para el sustrato Piedra Muñeca.

Tabla 15. Datos normalizados para el sustrato piedra muñeca

DATOS NORMALIZADOS						
		Ángulo de contacto (ángulo)	Absorción de agua (%)	Tubo Karsten (mL/h)	Erosión química	Manchado
<b>Sustrato 1 PIEDRA MUÑECA</b>	<b>MP A [4%]</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>MP A [10%]</b>	0,30	0,23	0,21	0,67	0,00
	<b>MP B [5%]</b>	0,50	0,06	0,88	1,00	0,63
	<b>MP B [20%]</b>	0,55	0,41	0,96	0,33	1,00
	<b>MP E [5%]</b>	0,87	0,98	1,00	1,00	0,25
	<b>MP E [25%]</b>	1,00	1,00	1,00	0,67	0,25

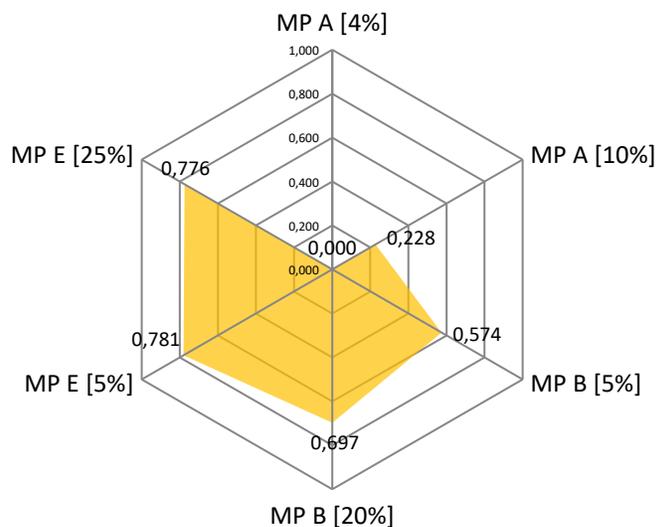
El peso de cada uno de los criterios se determinó por discusiones entre la empresa patrocinadora y la autora del presente documento, estos se pueden observar en el Cuadro 4. Estos pesos aplican para la selección del mejor agente hidrofugante para cada sustrato.

Cuadro 4. Peso para cada criterio

Criterio	Peso	Justificación
Ángulo De Contacto (Ángulo - Grados)	20%	Se le asigno este peso dado que entre mayor sea el ángulo significa que la superficie presenta hidrofobicidad, lo cual es importante y es lo que se busca en el momento de escoger el agente hidrofugante.
Absorción De Agua (%)	22%	Se determina este peso dado que las piedras algunas veces se manchan con agua y con este experimento se puede evidenciar cómo se comporta la piedra con absorción de agua; adicionalmente es importante que la piedra no retenga gran cantidad de agua
Tubo Karsten (mL/h)	22%	Este experimento muestra cómo se comporta el sustrato como simulación de lluvias, es importante que la piedra no retenga gran cantidad de agua lo que indica que la superficie es hidrofóbica
Erosión Química	11%	Las piedras presentan daños cuando se encuentran en ambientes húmedos como piscinas y los sustratos presentan erosión por contacto con sustancias químicas para limpiar estos ambientes, por tanto, es un criterio importante pero no fundamental dado que los sustratos no van a estar en frecuente contacto con este tipo de ambientes
Manchado	25%	Se considera el criterio con mayor importancia dado que el fin del protector es evitar el manchado de sustancias, el hidrófugo se desempeña mejor cuando repele esas sustancias y no afecta la apariencia del sustrato

Después de la elaboración de la sumatoria, se obtienen los índices de priorización que se muestran en la Figura 3. Se observa que el mayor índice de priorización obtenido es para la MP E al 5% con un valor de 0,781 lo que indica que esta es la materia prima seleccionada que produce los mejores resultados para el sustrato piedra muñeca.

Figura 3. Índices de priorización para piedra muñeca



**3.5.2 Mejor agente hidrofugante para el sustrato 2: Piedra Blanca.** Siguiendo el mismo procedimiento desarrollado en el numeral 3.5.1, se realiza la selección del agente hidrofugante para el sustrato piedra blanca. Los criterios utilizados en la selección son los mismos que se encuentran en el Cuadro 3 y los pesos utilizados son los mismos que se relacionan en el Cuadro 4.

Por tanto, siguiendo los pasos para la metodología de multicriterios, se realiza la normalización de los datos de acuerdo a la asignación de los valores más relevantes y menos relevantes para cada criterio, estos valores se muestran en la Tabla 16

Tabla 16. Relevancia para priorización de piedra blanca

	Valor	Ángulo De Contacto (Ángulo)	Absorción De Agua (%)	Tubo Karsten (mL/H)	Erosión Química	Manchado
<b>Más Relevante</b>	1	129,99	1,10	0,20	0,00	4,67
<b>Menos Relevante</b>	0	54,00	2,60	2,40	0,33	2,00

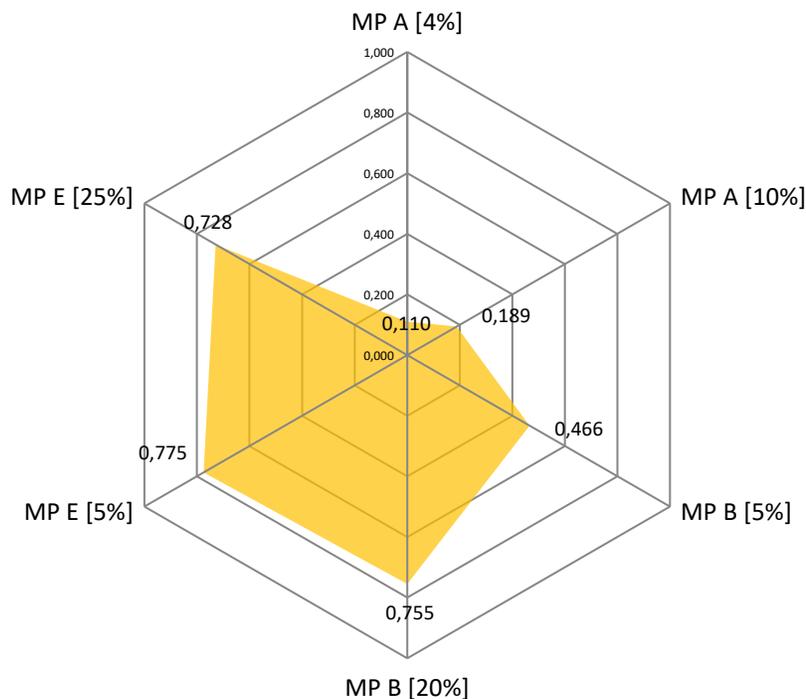
Posteriormente se realizan las funciones de transformación para cada uno de los criterios, estas funciones de transformación para Piedra Blanca se encuentran en el anexo E y adicionalmente, en la Tabla 17, se muestran los datos normalizados para el sustrato piedra blanca.

Tabla 17. Datos normalizados para el sustrato piedra blanca

		DATOS NORMALIZADOS				
		Ángulo De Contacto (Ángulo)	Absorción De Agua (%)	Tubo Karsten (mL/h)	Erosión Química	Manchado
<b>Sustrato 2 PIEDRA BLANCA</b>	<b>MP A [4%]</b>	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
	<b>MP A [10%]</b>	0,25	0,57	0,06	0,00	0,00
	<b>MP B [5%]</b>	0,39	0,46	0,88	0,00	0,38
	<b>MP B [20%]</b>	0,54	0,82	0,98	0,00	1,00
	<b>MP E [5%]</b>	0,81	1,00	1,00	1,00	0,25
	<b>MP E [25%]</b>	1,00	0,99	0,98	0,00	0,38

Para finalizar la metodología de multicriterios para escoger el agente hidrofugante para el sustrato 2, se realiza la calificación de cada agente hidrofugante y se realiza la priorización; esta última se puede apreciar en la Figura 4. Allí se observa que el mayor índice de priorización obtenido es para la MP E al 5% con un valor de 0,775 lo que indica que esta es la materia prima seleccionada que produce los mejores resultados para el sustrato piedra blanca.

Figura 4. Índices de priorización para piedra blanca



**3.5.3 Mejor agente hidrofugante para el sustrato 3: Mármol negro.** Siguiendo el mismo procedimiento desarrollado en el numeral 3.5.1 y numeral 3.5.2, se realiza la selección del agente hidrofugante para el sustrato mármol negro. Los criterios utilizados en la selección son los que se encuentran en el Cuadro 3 y los pesos utilizados son los que se relacionan en el Cuadro 4.

Por tanto, siguiendo los pasos para la metodología de multicriterios, se realiza la normalización de los datos de acuerdo a la asignación de los valores más relevantes y menos relevantes para cada criterio, estos valores se muestran en la Tabla 18

Tabla 18. Relevancia para priorización de mármol negro

	Valor	Ángulo De Contacto (Ángulo)	Absorción De Agua (%)	Tubo Karsten (mL/h)	Erosión Química	Manchado
<b>Más Relevante</b>	1	100,30	0,00	0,00	0,00	5,00
<b>Menos Relevante</b>	0	51,92	0,17	0,37	0,67	3,67

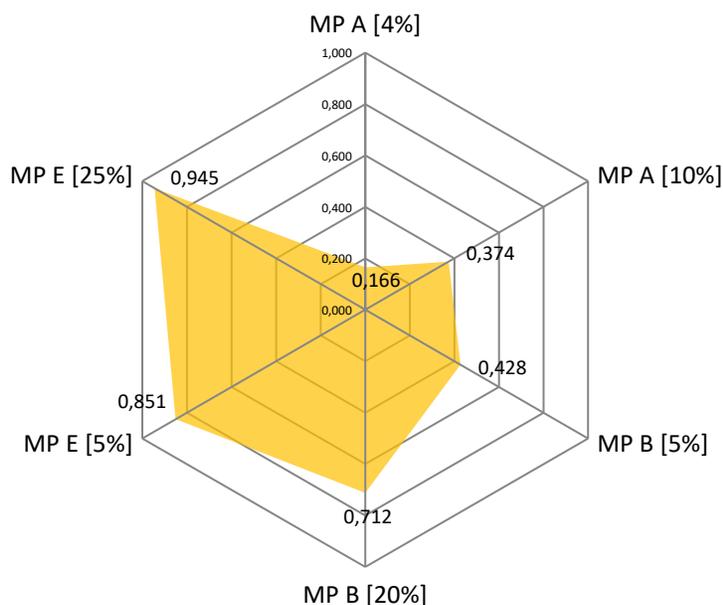
Posteriormente se realizan las funciones de transformación para cada uno de los criterios, estas funciones de transformación para el sustrato mármol negro se encuentran en el anexo F y adicionalmente, en la Tabla 19, se muestran los datos normalizados para este sustrato.

Tabla 19. Datos normalizados para el sustrato mármol negro

		DATOS NORMALIZADOS				
		Ángulo De Contacto (Ángulo)	Absorción De Agua (%)	Tubo Karsten (mL/h)	Erosión Química	Manchado
Sustrato 3 mármol negro	MP A [4%]	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00
	MP A [10%]	0,11	0,59	0,73	0,00	0,25
	MP B [5%]	0,41	0,00	0,18	0,50	1,00
	MP B [20%]	0,75	0,19	0,73	1,00	1,00
	MP E [5%]	0,84	1,00	1,00	0,50	0,75
	MP E [25%]	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00

Para finalizar la metodología de multicriterios para seleccionar el agente hidrofugante para el sustrato 3, se realiza la calificación de cada agente hidrofugante y se procede a realizar la priorización; esta última se puede apreciar en la Figura 5. Allí se observa que el mayor índice de priorización obtenido es para la MP E al 25% con un valor de 0,945 lo que indica que esta es la materia prima seleccionada que produce los mejores resultados para el sustrato mármol negro.

Figura 5. Índices de priorización para mármol negro



**3.5.4 Mejor agente hidrofugante para el sustrato 4: Mármol Café.** Siguiendo el mismo procedimiento desarrollado en los tres anteriores numerales, se realiza la selección del agente hidrofugante para el sustrato mármol café. los criterios utilizados en la selección son los que se encuentran en el Cuadro 3 y los pesos utilizados son los que se relacionan en el Cuadro 4.

Por tanto, siguiendo los pasos para la metodología de multicriterios, se realiza la normalización de los datos de acuerdo a la asignación de los valores más relevantes y menos relevantes para cada criterio, estos valores se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Relevancia para priorización de mármol café

	Valor	Ángulo De Contacto (Ángulo)	Absorción De Agua (%)	Tubo Karsten (mL/h)	Erosión Química	Manchado
<b>Más Relevante</b>	1	89,20	0,00	0,00	0,00	5,00
<b>Menos Relevante</b>	0	48,85	0,16	0,30	1,00	3,67

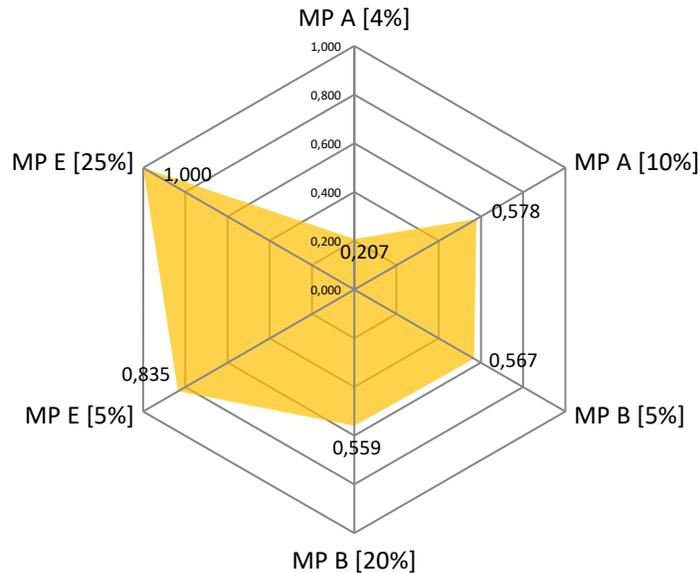
Posteriormente se realizan las funciones de transformación para cada uno de los criterios, estas funciones de transformación para el sustrato mármol café se encuentran en el Anexo G y adicionalmente, en la Tabla 21, se muestran los datos normalizados para este sustrato.

Tabla 21. Datos normalizados para el sustrato mármol café

DATOS NORMALIZADOS						
		Ángulo de contacto (Ángulo)	Absorción De Agua (%)	Tubo Karsten (mL/h)	Erosión Química	Manchado
<b>Sustrato 4 mármol café</b>	<b>MP A [4%]</b>	0,00	0,61	0,00	0,67	0,00
	<b>MP A [10%]</b>	0,75	0,67	0,67	0,67	0,25
	<b>MP B [5%]</b>	0,52	0,52	0,11	0,67	1,00
	<b>MP B [20%]</b>	0,81	0,00	0,67	0,00	1,00
	<b>MP E [5%]</b>	0,85	1,00	1,00	0,33	0,75
	<b>MP E [25%]</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Para finalizar la metodología de multicriterios para escoger el agente hidrofugo para el sustrato 4, se realiza la calificación de agente hidrofugo y se procede a realizar la priorización; esta última se puede apreciar en la Figura 6. Allí se observa que el mayor índice de priorización obtenido es para la MP E al 25% con un valor de 1 lo que indica que esta es la materia prima seleccionada que produce los mejores resultados para el sustrato mármol café.

Figura 6. Índices de priorización para mármol café



Con el procedimiento anterior, se determinó el agente activo para los sustratos, obteniendo mejores resultados la MP E en sus diferentes concentraciones, al 5% para las piedras areniscas y al 25% para el mármol, se observa que las pruebas realizadas permiten determinar la hidrofobicidad del sustrato tratado y sin tratar, la MP E disminuyo la absorción del agua significativamente de acuerdo a las pruebas realizadas de absorción de agua y tubo de Karsten, de igual manera incremento el ángulo de contacto pero se observó que este ensayo puede ser sensible a distorsiones de la imagen así como a irregularidades sobre la superficie, la MP E disminuye la erosión química provocada por las sales incrementando la vida útil del sustrato, el ensayo de resistencia al manchado mostro buenos resultados para la MP E disminuyendo las manchas causadas por las sustancias manchantes, con esto se logra el cumplimiento del objetivo "Determinar la formulación del protector hidrorrepelente mediante un desarrollo experimental"; por tanto, en el siguiente numeral, se procede a determinar las especificaciones técnicas para la producción de los hidrorrepelentes seleccionados (MP E al 5% y al 25%).

## 4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA PRODUCCIÓN DEL HIDROREPELENTE

En este capítulo se encuentra la información pertinente respecto a las especificaciones de producción de los hidropelentes seleccionados que se realizan con la MP E a concentraciones de 5% y de 25%. En este aparte primero se determina el volumen de producción, luego se realiza el balance general de masa que será base para la elaboración del diagrama de flujo de proceso y finalmente determinar la dimensión de los equipos utilizados en el proceso de producción del agente hidrófugo.

Teniendo en cuenta que el proceso de producción para ambas concentraciones es el mismo se realiza el dimensionamiento de una sola planta de producción, en donde es posible preparar las dos concentraciones diseñando así una planta que esté en la capacidad de elaborar las dos concentraciones, el proceso de producción consiste, principalmente, en una dilución del agente hidrofugante en agua desionizada, para lo cual se dosifican estos componentes, desde los tanques en los que se encuentran almacenados al tanque agitado. Una vez transcurrido el tiempo de mezclado el producto protector es empacado, etiquetado y almacenado, por lo que para la producción del hidrofugo es necesario 3 tanques (2 de almacenamiento y uno de mezclado), un agitador y válvulas volumétricas para regular la cantidad de materia prima.

### 4.1 VOLUMEN DE PRODUCCIÓN

Para determinar el volumen de producción se toman las siguientes consideraciones que son datos suministrados por la empresa patrocinadora:

- Piedra muñeca y piedra blanca: La empresa vende aproximadamente 1600 m<sup>2</sup> al mes de Piedras muñeca y blanca, de los cuales el 85% corresponde a piedra muñeca y el 15% restante de piedra blanca; se estima que el 80% del total de ventas de piedras se van a ofrecer con el producto hidropelente lo que equivale a 1280 m<sup>2</sup> mensualmente. Adicionalmente se estima que el cubrimiento del protector es de 12 m<sup>2</sup> por litro de hidrófugo seleccionado, este cubrimiento es dado por el fabricante.
- Mármol negro y mármol café: La empresa patrocinadora vende actualmente 200 m<sup>2</sup> mensuales de mármol, aunque la capacidad de venta mensual es de 1500 m<sup>2</sup> aproximadamente. De los 200 m<sup>2</sup> de ventas, el 70% corresponde a mármol

café y el 30% restante a mármol negro; adicionalmente el 80% del total de las ventas se espera que se vendan con el hidrorrepelente, es decir 160 m<sup>2</sup>. El hidroprotector adicionalmente se estima que tiene un cubrimiento de 12m<sup>2</sup> por litro de hidrófugo, este cubrimiento es dado por el fabricante.

Se realiza el cálculo del volumen de cada concentración del hidrófugo que se estima para la producción mensual. Para calcular este valor es necesario determinar el número de m<sup>2</sup> de ventas mensuales de cada sustrato, posteriormente se estima los metros cuadrados de sustrato que se venderán con hidrorrepelente y de acuerdo a este valor (un cubrimiento de 12 m<sup>2</sup> por litro de hidrorrepelente) se encuentra la cantidad de litros a producir por sustrato.

De acuerdo a esto, la cantidad de litros a producir para el sustrato piedra muñeca es de 91 litros por mes, para piedra blanca de 16 litros por mes, para mármol negro de 4 litros por mes y para mármol café de 10 litros por mes.

En el numeral 3.5 del presente documento, se presentó la selección de los agentes hidrófugos, resultando la MP E a las concentraciones de 5% para piedra muñeca y piedra blanca y a 25% para mármol negro y mármol café. Teniendo en cuenta esta información se realizan las sumatorias pertinentes para determinar la cantidad de litros por mes de agente hidrófugo E en sus dos concentraciones, llegando a la conclusión de que para la MP E al 5% es necesario producir 107 L/mes de agente hidrófugo y para la MP E al 25% se necesita producir 14 L/m de agente hidrófugo.

Esta producción se realizará en un proceso por lotes y se realizará una vez al mes; los tamaños de los tanques se diseñan en base al mayor volumen de cualquiera de las concentraciones, en este caso de el volumen de la MP E al 5% con una producción de 107 L/mes.

## **4.2 BALANCE DE MASA**

Se realiza un balance global de masa por cada una de las soluciones hidrófugas seleccionadas; esto se realiza con el fin de determinar la cantidad de materia prima que se debe utilizar para el proceso.

Se utiliza una base de cálculo de un mes y los cálculos realizados se realizan para la operación de mezcla con agitación constante y sin reacción química.

**4.2.1 Balance de masa para la MP E al 5%.** Para la realización del balance de masa se utilizó como dato de partida la cantidad de hidrófugo que se necesita producir por mes, que fue determinado anteriormente y que corresponde a un valor de 107 L/mes.

La cantidad de volumen que se debe producir en un mes es convertida a masa utilizando la densidad de la solución hidrófuga que tiene un valor de 1,016 kg/L; el valor de la masa que se debe producir mensualmente es de 108,712 kg. Con el valor de masa se encuentra la masa del agente hidrófugo dado que se conoce la concentración final de la mezcla que debe ser de 5% de la MP E, este valor de masa corresponde a 5,436 kg; posteriormente por medio de resta, se encuentra la cantidad de agua que se debe agregar a la mezcla, este valor corresponde a 103,276 kg.

Adicionalmente, como las materias primas se encuentran en el mercado en presentación líquida, se procede a encontrar los volúmenes necesarios de cada una de ellas utilizando la densidad de los compuestos; en el caso del agente hidrófugo E cuya densidad es de 1,2 kg/L se encuentra que se necesita un volumen de 4,530 L, mientras que, para el agua, cuya densidad es de 1,002 kg/L se encuentra que es necesario agregar 103,070 L. En la Figura 7 se muestra el balance global de masa obtenido para la MP E al 5%.

Figura 7. Balance global de masa para la MP E al 5%



**4.2.2 Balance de masa para la MP E al 25%.** Para la realización del balance de masa se utilizó como dato de partida la cantidad de hidrófugo que se necesita producir por mes, que fue determinado anteriormente y que corresponde a un valor de 14 L/mes.

La cantidad de volumen que se debe producir en un mes es convertida a masa utilizando la densidad de la solución hidrófuga que tiene un valor de 1,053 kg/L; el valor de la masa que se debe producir mensualmente es de 14,742 kg. Con el valor de masa se encuentra la masa del agente hidrófugo dado que se conoce la concentración final de la mezcla que debe ser de 25% de la MP E, este valor de masa corresponde a 3,686 kg; posteriormente por medio de resta, se encuentra la cantidad de agua que se debe agregar a la mezcla, este valor corresponde a 11,057 kg.

Igual que en caso anterior, como las materias primas se encuentran en el mercado en presentación líquida, se procede a encontrar los volúmenes necesarios de cada una de ellas utilizando la densidad de los compuestos; en el caso del agente hidrófugo E cuya densidad es de 1,2 kg/L se encuentra que se necesita un volumen de 3,071 L, mientras que, para el agua, cuya densidad es de 1,002 kg/L se encuentra que es necesario agregar 11,034 L. En la Figura 8 se muestra el balance global de masa obtenido para la MP E al 5%.

Figura 8. Balance global de masa para la MP E al 25%



### 4.3 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

El dimensionamiento de los equipos se realiza en base al mayor volumen necesario entre los dos hidrófugos seleccionados en el numeral 3.5. El mayor volumen utilizado es de 107 L provenientes de la MP E al 5%, por tanto, todos los cálculos se realizarán de acuerdo a este valor.

Los hidrófugos seleccionados provienen de la misma materia prima y son de diferentes concentraciones, por tal motivo el diseño que se realice para la producción de la MP E al 5% servirá para la MP E al 25%.

Para el proceso se requiere de dos tanques de almacenamiento para las materias primas, de un tanque de mezclado con su respectivo agitador y válvulas volumétricas que permitan la medición de la cantidad de materia prima que pasa al tanque de mezclado.

**4.3.1 Tanques.** Como se describió con anterioridad, se deben diseñar los dos tanques de almacenamiento y el tanque de agitación. Dos de los tanques (el de almacenamiento para la MP E y el tanque de agitación) se diseñan en acero inoxidable 304 dado que los aceros ayudan a que la materia prima no se contamine y produce una mayor durabilidad de las sustancias almacenadas<sup>60</sup>, en la Tabla 22 se observan las características del acero inoxidable AISI 304 adicionalmente como indican Castro y Fernández<sup>61</sup> el acero inoxidable 304 es altamente usado para este tipo de procesos debido a su aleación de cromo y níquel además de un bajo contenido de carbono que hace del tanque una buena resistencia a la oxidación, además se usa este tipo de acero debido a que el agente hidrofugante es una sustancia corrosiva y se desea evitar daños en la estructura.

Tabla 22. Características AISI 304

Material	AISI 304
Composición	18Cr-8Ni Spec No: SA-240
Densidad	7930 kg/m <sup>3</sup>
Tensión máxima admisible(S)	85000 <i>psi</i>
Módulo de elasticidad (E)	200 GPa
Sobre espesor por corrosión (C)	0.001 m
Sobre espesor por fabricación (C2)	0.0018 m

<sup>60</sup> CASTRO, L., FERNÁNDEZ, S. Op. cit., Pág. 67.

<sup>61</sup> Ibid.

El tanque de almacenamiento para el agua desionizada debe hacerse en plástico, esto dado esta es una sustancia agresiva con los metales.<sup>62</sup>

Adicionalmente, para evitar la contaminación de las materias primas, los tanques a diseñar deben ser en forma cilíndrica y necesitan tener un techo de protección, para ello se selecciona un techo fijo. Los tanques son diseñados para trabajar a presión atmosférica, es decir, no son tanques presurizados.

**4.3.1.1 Tanque de almacenamiento para la MP E.** Para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento se utilizan las ecuaciones contempladas por Boixader et al<sup>63</sup> en donde los tanques de almacenamiento deben estar un 25% adicional al volumen útil, por tal motivo el primer paso es encontrar el volumen del tanque teniendo la consideración que el volumen útil es de 4,53 L de acuerdo al balance masa realizado anteriormente en el numeral 4.2.1 se realiza el cálculo del volumen del tanque utilizando la Ecuación 5.

Ecuación 5. Cálculo del Volumen Útil del tanque

$$V_U = 0,75V_F$$

Donde  $V_F$  es volumen final del tanque y  $V_U$  es el Volumen útil del tanque, aplicando la Ecuación 5 se obtiene que el volumen del tanque a diseñar ( $V_T$ ) debe ser de 6039  $\text{cm}^3$ .

Posteriormente, se supone una relación altura/diámetro de 1,5; y aplicando el grupo de fórmulas de la Ecuación 6, se encuentra el diámetro del tanque.

Ecuación 6. Grupo de fórmulas para encontrar el diámetro del tanque

$$V_T = \pi r^2 h$$

Como  $r = \frac{d}{2}$  y como  $h = 1,5d$

$$V_T = \pi \left( \frac{d^2}{4} \right) (1,5d)$$
$$V_T = 0,375\pi d^3$$

---

<sup>62</sup> Anónimo. Agua desionizada. Tomado de :[ [https://es.wikipedia.org/wiki/Agua\\_desionizada](https://es.wikipedia.org/wiki/Agua_desionizada)]

<sup>63</sup> BOIXADER, Queral; FALCONI, Cori-Yuri; LLADÓ, Joan; LÓPEZ, Emylin; LÓPEZ, Patricia; PERÍS MIRAS, Marc; VAM INDUSTRY. Planta de producción de acetato de vinilo. Apartado 11: Manual de Cálculos. Universitat Autònoma de Barcelona. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria. 2016. [Consultado el 16 de enero de 2018]. Disponible en: < [https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG\\_VamIndustry\\_v11.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf)>

$$d = \sqrt[3]{\frac{V_T}{0,375\pi}}$$

Donde  $V_T$  es el volumen del tanque,  $r$  es el radio del tanque,  $h$  es la altura del tanque y  $d$  el diámetro del tanque. Reemplazando en el grupo de ecuaciones de la Ecuación 6, se encuentra que el diámetro es de 17,2 cm.

Con el valor del diámetro y la relación diámetro/altura de 1,5; se encuentra que la altura del tanque debe ser de 25,9 cm.

**4.3.1.2 Tanque de almacenamiento para el Agua.** Para el diseño del tanque de almacenamiento para el agua desionizada, se realiza el mismo procedimiento establecido para el tanque de almacenamiento de la MP E y con la misma consideración de relación altura/diámetro de 1,5. Este tanque de almacenamiento tiene un volumen útil de 103,07 L de acuerdo al balance de masa realizado en el numeral 4.2.1 Se calcula el volumen del tanque a diseñar utilizando la Ecuación 5 y el  $V_T$  debe ser de 137427,0126 cm<sup>3</sup>. Adicionalmente, aplicando el grupo de fórmulas que se encuentran en la Ecuación 6, se calcula el diámetro y la altura del tanque, obteniendo 48,861 cm y 73,292 cm respectivamente.

**4.3.1.3 Tanque de mezclado.** Para el diseño del tanque de agitación, se realiza el procedimiento establecido para los tanques de almacenamiento y con una relación altura/diámetro de 1,5. Este tanque de almacenamiento tiene un volumen útil de 107 L, lo que equivale a 0,107 m<sup>3</sup> de acuerdo al balance de masa realizado en el numeral 4.2.1. Se calcula el Volumen del tanque a diseñar utilizando la Ecuación 5 y el  $V_T$  debe ser de 0,143 m<sup>3</sup>. Adicionalmente, aplicando el grupo de fórmulas que se encuentran en la Ecuación 6, se calcula el diámetro y la altura del tanque, obteniendo 49 cm y 74 cm respectivamente. Estas ecuaciones son extraídas de Boixader et al<sup>64</sup>.

Teniendo en cuenta la distribución de los equipos en planta y evitar riesgos en el momento de la producción del hidrófugo, se debe tener en cuenta que todos los tanques de almacenamiento y de mezclado se consideran tanques pequeños, por

---

<sup>64</sup> BOIXADER, Queralt; FALCONI, Cori-Yuri; LLADÓ, Joan; LÓPEZ, Emylin; LÓPEZ, Patricia; PERÍS MIRAS, Marc; VAM INDUSTRY. Planta de producción de acetato de vinilo. Apartado 11: Manual de Cálculos. Universitat Autònoma de Barcelona. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria. 2016. [Consultado el 16 de enero de 2018]. Disponible en: < [https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG\\_VamIndustry\\_v11.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf) >

lo que deben estar a más de 1 metro de puertas, ventanas, aberturas o medios de escape.

Adicionalmente, se calcula la presión de diseño ( $P_D$ ) utilizando la Ecuación 7:

Ecuación 7. Cálculo de la Presión de Diseño

$$P_D = P_{operación} + P_{Hidro}$$

Donde  $P_{operación}$  es la presión de operación y corresponde a la presión de a 1 atmósfera y la  $P_{Hidro}$  es la presión hidrostática del fluido y se calcula con la Ecuación 8.

Ecuación 8. Cálculo de la presión hidrostática

$$P_{Hidro} = \rho_{fluido} * g * H_{fluido}$$

Donde  $\rho_{fluido}$  es la densidad del fluido que contiene el tanque agitado,  $g$  es la gravedad que corresponde a  $9,81 \text{ m/s}^2$  y  $H_{fluido}$  es la altura que ocupa el fluido en el tanque agitado; este último valor se encuentra con la Ecuación 9.

Ecuación 9. Cálculo de la Altura del Fluido

$$H_{fluido} = \frac{0,75 * V_{Tanque}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) * D^2}$$

Donde  $H_{fluido}$  es la altura que ocupa el fluido el cual corresponde al 75% del volumen del tanque ( $V_{Tanque}$ ) y  $D$  es el diámetro del tanque.

Reemplazando en la Ecuación 8, la altura del fluido corresponde a 0,557 m; en la Ecuación 9, la presión hidrostática es de 5547 Pa y en la Ecuación 7, la presión de diseño es de 1,0547 atm.

Se determina el espesor de la pared del tanque por medio de la Ecuación 10, donde  $r$  es el radio del tanque,  $S$  es el límite elástico y  $E$  es el factor de soldadura con un valor de 0,85,  $C1$  es el sobre espesor por corrosión y  $C2$  el sobre espesor por fabricación; reemplazando en esta ecuación, el espesor ( $t$ ) toma un valor de 2,879 mm.

Ecuación 10. Cálculo del espesor de la pared

$$t = \frac{P_D * r}{(S * E) - 0,6 * P_D} + C1 + C2$$

**4.3.2 Agitador.** Es necesario el uso de un agitador para garantizar la homogeneidad de la mezcla, por tal motivo se selecciona un agitador de turbina debido a la viscosidad de la mezcla como lo indica el anexo H siendo la viscosidad de 1 CPS por lo que es recomendado el uso de agitadores de turbina o propelas, que se diseña de acuerdo al tamaño del tanque; este constará adicionalmente de 4 deflectores porque es el número comúnmente utilizado en la industria.

Se calcula el diámetro del rodete ( $D_R$ ) utilizando la Ecuación 11, en donde  $D_T$  corresponde al diámetro del tanque. El diámetro del rodete corresponde 0,164 m.

Ecuación 11. Cálculo del Diámetro del Rodete

$$\frac{D_a}{D_T} = \frac{1}{3}$$

El ancho del rodete se calcula mediante la Ecuación 12 y se obtiene un valor de 0,0412 m, adicionalmente se encuentra el espesor del rodete que se calcula mediante la Ecuación 13 y corresponde a 0,0330 m.

Ecuación 12. Cálculo del ancho del rodete

$$L = \frac{1}{4} D_a$$

Donde L es el ancho del rodete y  $D_a$  es el diámetro del rodete

Ecuación 13. Cálculo del espesor del rodete

$$W = \frac{1}{5} D_a$$

Donde W es el espesor del rodete y  $D_a$  es el diámetro del rodete. De la misma forma, es importante calcular el largo del agitador y el ancho de los deflectores; estos valores se encuentran utilizando la Ecuación 14 y Ecuación 15.

Ecuación 14. Cálculo del largo del agitador

$$E = D_a$$

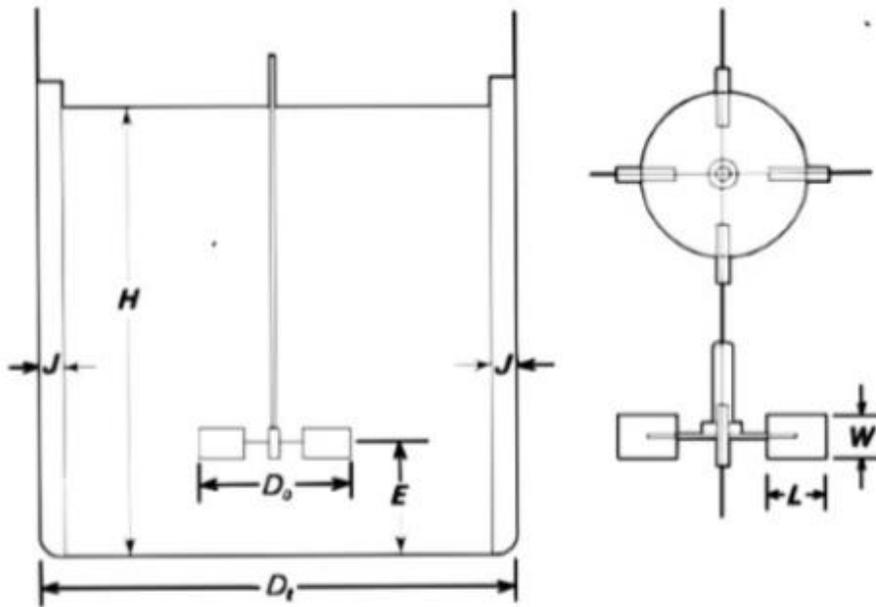
Donde E es el largo del agitador y  $D_a$  el diámetro del rodete.

Ecuación 15. Cálculo del ancho de los deflectores

$$J = \frac{1}{12} D_T$$

Donde J es el ancho de los deflectores y  $D_T$  es el diámetro del tanque. Los valores encontrados para el largo del agitador y ancho de los deflectores son respectivamente: 0,165 m y 0,0412 m.

Figura 9. Proporciones del agitador



Se pueden calcular las revoluciones por minuto a partir de la siguiente ecuación: (Ver Ecuación 16)

Ecuación 16. Calculo Revoluciones

$$\left( \frac{N_r * D_a^2 * \mu_l}{\sigma * D_T} \right) * \left( \frac{\rho_L * \sigma^3}{g * \mu_l} \right)^{0,25} = 2 * \left( \frac{h_r}{D_T} \right)^{0,5}$$

Donde  $N_r$  es el número de revoluciones,  $D_a$  es el diámetro del rodete,  $\mu$  es la viscosidad del producto,  $\sigma$  es la tensión superficial del protector,  $\rho$  es la densidad del protector,  $g$  es la gravedad y  $h_T$  es la altura del tanque. Como se desconoce la viscosidad y la tensión superficial del hidrorrepelente, se toma como valor de referencia el agua por lo que el protector es del 95% agua. Finalmente, se obtiene el valor de 316,258 RPM Para ajustar un valor de buena transferencia además que es bifásico, se ajusta el valor a 600 rpm o lo que vendría a ser 10 RPS.

Ecuación 17. Calculo Reynolds

$$Re = \frac{\rho * N * Da^2}{\mu}$$

Donde  $Re$  es el número de Reynolds,  $\rho$  es la densidad,  $N$  es el número de revoluciones,  $Da$  es el diámetro del rodete y  $\mu$  es la viscosidad.

Al aplicar la Ecuación 17 se obtiene que el número de Reynolds es 276319,869 usando anexo I se obtiene un numero de potencia en función del Reynolds igual a 6 Seguidamente se calcula la potencia del agitador a partir de la Ecuación 18.

Ecuación 18. Calculo potencia

$$P = \frac{Np * Da^5 * N^3 * \rho}{g}$$

Donde  $P$  es la potencia,  $Np$  es el número de potencia,  $Da$  es el diámetro del rodete,  $N$  es el número de revoluciones,  $\rho$  es la densidad y  $g$  la gravedad. Se obtiene una potencia igual a 0,74 Kw o lo que equivale a 0,998 HP.

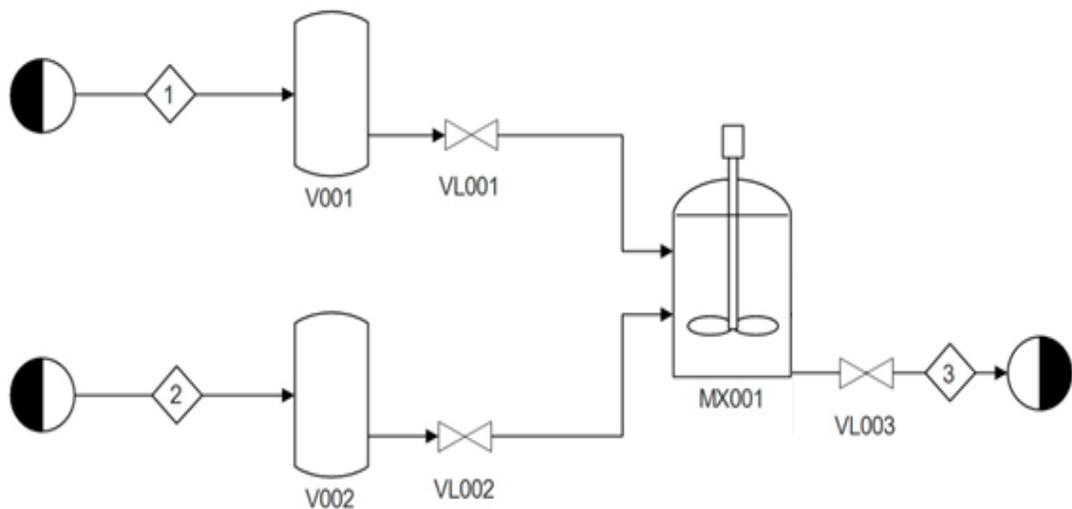
Si bien el proceso es por lotes, se toma como base de cálculo una hora para poder determinar el caudal del agente hidrófugo E y del Agua; por tanto, los caudales corresponden al mismo valor del flujo másico, es decir que para la MP E es de 5,436 kg/h y para el agua es de 103,276 kg/h.

Descritos cada uno de los equipos que se utilizarán se procede a realizar el diagrama de flujo de proceso.

#### 4.4 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

Con el dimensionamiento de los equipos involucrados en el proceso de producción de los hidrófugos, se procede a realizar el diagrama de flujo de proceso con el cual se espera elaborar el protector hidrofugo. En la Figura 10 se muestra el PFD para la producción del protector hidrofugo.

Figura 10. Diagrama de flujo de proceso para la producción de hidrófugos



En el Cuadro 5 se muestra los equipos definidos en el PFD y sus características principales.

**Cuadro 5. Equipos contenidos en el PFD**

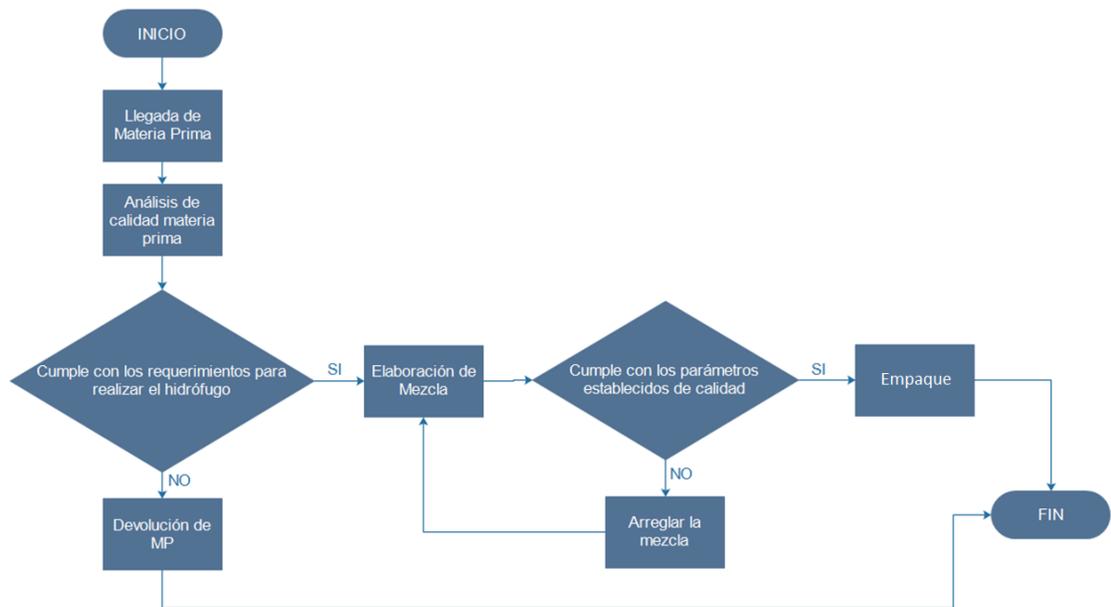
Corriente o Equipo	Características
Corriente 1	Compuesta por MP E; con una densidad de 1,2 kg/L para ambas concentraciones; con un flujo de 0,59 L (si es para la concentración de 5%) o de 23,47 L (si es para la concentración de 25%); temperatura ambiente y presión estándar.
Corriente 2	Compuesta por agua desionizada; con una densidad de 1,002 kg/L para ambas concentraciones; con un flujo de 13,48 L (si es para la concentración de 5%) o de 84,33 L (si es para la concentración de 25%); temperatura ambiente y presión estándar.
Corriente 3	Mezcla compuesta por MP E y agua, con una densidad que depende de la concentración que se está elaborando (1,016 kg/L para 5% y 1,053 para 25%) y con un flujo de salida que depende de la concentración a elaborar (14 L para la concentración de 5% y 107 para la concentración de 25%); se encuentra a temperatura y presión estándar.
V001	Tanque de almacenamiento de la MP E, tiene una temperatura ambiente y una presión estándar; es elaborado en acero inoxidable 304.
V002	Tanque de almacenamiento de agua, tiene una temperatura ambiente y una presión estándar; es elaborado en plástico.
MX001	Mezclador con agitador.
VL001	Válvula volumétrica tipo mariposa
VL002	Válvula volumétrica tipo mariposa
VL003	Válvula volumétrica tipo mariposa

Para la producción del hidrofugo se utilizan dos tanques de almacenamiento en donde se debe almacenar al agua y la MP E, para dar paso al fluido se realiza la apertura de las válvulas VL001 y VL002, depositándolos en el tanque de agitado el cual mezcla durante un periodo de tiempo aproximado de 15 minutos, este periodo se estableció para asegurar el mezclado y la homogenización del producto, además para evitar la decantación durante su empaque, posteriormente se procede con el empaque y almacenamiento del protector.

En la Figura 11 se muestra cómo se propone el sistema de calidad de los hidrófugos en el proceso de producción, en donde se propone como análisis a materia prima realizar verificación de densidad de la MP E la cual debe ser aproximada a 1,2 Kg/L

de acuerdo a la ficha técnica de la MP E así como la verificación de la fecha de caducidad la que debe ser mayor a 3 años; como análisis para la verificación del parámetros de calidad del producto se propone verificar la densidad siendo la deseada 1,053 Kg/L para la concentración del 25% y 1,016 Kg/L para la concentración del 5%, en caso de no cumplimiento será necesario ajustar la densidad agregando más MP E o agua desionizada según sea la densidad obtenida.

Figura 11. Diagrama de Flujo proceso interno de calidad



Con el diseño de los equipos y el diagrama de flujo de proceso se establecen las especificaciones técnicas para la producción del protector hidrofugo, así como las fichas técnicas de los productos desarrollados (anexo JANEXO J) así como la hoja de seguridad del protector hidrofugo en donde se encuentran todos los riesgos y cuidados del producto. A continuación, en el capítulo 5, se muestra el análisis financiero del proyecto.

## **5. ANÁLISIS FINANCIERO**

En el presente capítulo se presenta los costos involucrados con el proceso de elaboración de los hidrófugos seleccionados anteriormente en el numeral 3.5.

Los agentes hidrófugos se venderán como un plus para los sustratos evaluados; es decir, se vende la solución hidrófuga en presentación de un litro junto con los sustratos para así asegurar la garantía de los sustratos, el protector es aplicado por el cliente o por el constructor.

Para efectos de encontrar los costos relacionados con el proceso se toma en cuenta la cantidad de hidrófugo que se debe preparar mensualmente que corresponde a 107 L para la MP E 5% y de 14 L para la MP E 25%.

De acuerdo al dimensionamiento de los equipos mostrado en el Capítulo 4 de este documento, se calculan los costos de inversión del proyecto, los costos de personal relacionados con la actividad operacional, el costo de la materia prima involucrada en el proceso, el costo energético del proceso y el precio de venta de los hidropelente, gasto energético, mano de obra, entre otros.

### **5.1 COSTOS DE INVERSIÓN**

Según el aparte 4.3 de este documento, son 7 los equipos necesarios para la producción de las dos soluciones hidrófugas anteriormente seleccionadas. Para la estimar los costos de inversión se toman en cuenta todos los equipos involucrados en el proceso incluyendo las tuberías y las válvulas volumétricas.

Los costos para cada uno de los equipos se pueden apreciar en el anexo K incluyendo los costos de tanque de almacenamiento, tanque de mezclado, tubería y válvulas tipo mariposa; los costos de inversión inicial para el proyecto tienen un valor de \$ 1.409.940 COP (Ver Tabla 23), de acuerdo a las cotizaciones y consultas realizadas.

Tabla 23. Resumen costo de equipos

Equipos	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Tanque Almacenamiento			
Hidrófugo	1	\$250.000	\$250.000
Tanque Almacenamiento Agua	1	\$79.990	\$79.990
Tanque con mezclador	1	\$1.000.000	\$1.000.000
Válvula Volumétrica	2	\$21.990	\$43.980
Tubería	3	\$11.990	\$35.970
COSTO TOTAL EQUIPOS + INSTALACIÓN (COSTOS DE INVERSIÓN)			\$1.409.940

## 5.2 COSTOS DE PERSONAL

Para la determinación de costos de personal se tiene en cuenta la mano de obra directa, el personal administrativo y el personal de venta.

**5.2.1 Mano de obra directa.** Son los valores de los salarios y demás prestaciones sociales incurridos directamente en el proceso de elaboración o producción de bienes o la prestación de servicios. para llevar a cabo la producción se necesita un solo operario para que realice el proceso de elaboración de los productos hidrófugos y de la misma forma el mismo operario realizará el empaque del protector. Se determinó que el operario debe laborar dos días al mes para realizar el proceso de producción mensual.

En la Tabla 24 se muestra la tabla de costos de personal realizada en base a nomina, con todas las prestaciones legales; se puede observar que el valor por día del empleado debe ser de \$43.097 COP y como el empleado debe trabajar 2 días para realizar la elaboración de las dos concentraciones el valor por mes del empleado es de \$86.194 COP es decir para el año 1 el valor de la mano de obra directa es de \$ 1.034.328 COP, este valor es relativamente bajo puesto que la cantidad de días que debe laborar el operario para cumplir con la producción mensual del protector hidrofugo.

Tabla 24. Gastos nomina mano de obra directa

Ítem	Valor
Salario	\$ 781.242
Subsidio de Transporte	\$ 88.211
Pensión	\$ 93.749
Salud	\$ 66.406
Caja Compensación	\$ 31.250
ARL	\$ 33.984
Prima	\$ 65.104
Cesantías	\$ 65.104
Intereses de Cesantías	\$ 7.812
Vacaciones	\$ 32.552
Dotaciones	\$ 27.500
Total por Empleado/Mes	\$ 1.292.912
Valor Total Empleado Día	\$ 43.097
Días trabajados en la planta al Mes	2
Total Valor Mes	\$ 86.194

**5.2.2 Nomina administrativos.** En el área administrativa la empresa Conalmin S.A.S. cuenta con 5 cargos destinados a la labor de recursos humanos, compras, calidad, facturación y despachos los cuales laboran de tiempo completo para poder despachar el producto terminado, pero como la empresa Conalmin presenta otros frentes de trabajo en donde los gastos de mano de obra directa son significativos para el flujo de caja de Conalmin estos valores son despreciables para el proceso de producción.

**5.2.3 Nomina ventas.** En el área de ventas la empresa Conalmin S.A.S. contratara a un vendedor dedicado a la venta de piedras naturales, como el producto hidrófugo va a ser parte de esta división este vendedor será el encargado de que el 80% de las piedras se vendan con el hidropelente , en la Tabla 32 se observan los gastos de nómina del personal de ventas por un valor anual de \$ 19.470.532 , la persona encargada de ventas tiene a cargo dos frentes de trabajo (aserrío e hidroprotector) por lo que se le asigna el 50% del salario del vendedor al centro de costos del hidropelente correspondiente a \$ 9.735.266,00 anuales.

**5.2.4 Proyección de gastos de nómina.** Se realiza una proyección a 5 años en donde es incluido el incremento anual del salario mínimo, como este incremento aún no se encuentra establecido se asume un incremento anual del 5,90% el cual corresponde al incremento del año 2018.

En la Tabla 25 se observa la proyección de los gastos de nómina en donde se incluye la mano de obra directa de un operario que labora dos días al mes para realizar la producción y los gastos de ventas que equivalen al 50% del salario de una persona encargada de las ventas del aserrío y del hidropelente, la tabla presenta el respectivo incremento anual.

**Tabla 25 proyección nomina a 5 años**

	mano de obra	Ventas	TOTAL
Año 1	\$ 1.034.330	\$ 9.735.266	\$ 10.769.596
Año 2	\$ 1.095.355	\$ 10.309.647	\$ 11.405.002
Año 3	\$ 1.159.981	\$ 10.917.916	\$ 12.077.897
Año 4	\$ 1.228.420	\$ 11.562.073	\$ 12.790.493
Año 5	\$ 1.300.897	\$ 12.244.235	\$ 13.545.132

### 5.3 COSTO DE MATERIAS PRIMAS

De acuerdo al balance de masa realizado se requieren 9,1211 Kg de MP E y 114 L de agua desionizada, la Tabla 26 muestra la cantidad de materia prima necesaria para la producción del hidropelente.

**Tabla 26 Costo de materias primas**

	MP E	Agua Desionizada
Unidad de medida	Kg	L
cantidad necesaria Mes	9,1211	114,104691
costo US	134,05	Na
costo COP	\$ 382.277	\$ 2.650
Costo Total COP Mes	\$ 3.486.788	\$ 302.377
Costo Total COP Año	\$ 41.841.451	\$ 3.628.529

\*Valor del dólar para el día 21 de Enero del 2,018 es de 2.851,75 COP

Para elaborar el flujo de caja se realiza una proyección de compras de materias primas (ver Tabla 27) se espera un incremento en ventas anual del 5% anual por lo que se incrementa igualmente el porcentaje de compra de materia prima, además se tiene en cuenta que anualmente estas materias primas incrementan asumiendo un incremento anual del 2%, los porcentajes fueron suministrados por la empresa

debido a su experiencia como vendedores y compradores. El incremento en ventas se debe a la proyección de ventas de piedra en donde actualmente tienen como meta este incremento anual, para el cumplimiento de este incremento se realiza el proceso de mejora continua dentro de la empresa de Conalmin.

**Tabla 27. Proyección compra MP**

	MP E	Agua	MP E	Agua	TOTAL
	CANTIDAD (kg)	CANTIDAD (l)	PRECIO ANUAL		
Año 1	109,4532	1369,25629	\$ 41.841.451	\$ 3.628.529	\$ 45.469.980
Año 2	125,87118	1574,64473	\$ 42.678.280	\$ 3.701.100	\$ 46.379.379
Año 3	144,751857	1810,84144	\$ 43.531.845	\$ 3.775.122	\$ 47.306.967
Año 4	166,464636	2082,46766	\$ 44.402.482	\$ 3.850.624	\$ 48.253.106
Año 5	191,434331	2394,8378	\$ 45.290.532	\$ 3.927.637	\$ 49.218.168

## 5.4 COSTOS INDIRECTOS

Teniendo en cuenta que existen diferentes costos que afectan al proceso productivo de manera indirecta, se tienen en cuenta los costos de electricidad, depreciaciones e intereses financieros.

**5.4.1 Costos eléctricos.** La cantidad de energía que se consume en el proceso de producción es la potencia máxima indicada en cada equipo, el tiempo de uso y el costo por KW que es cobrado regularmente en el industrial sin contribución de nivel de tensión 2. En la tabla 28 se muestra el consumo energético para la producción mensual del hidropelente.

El costo energético es bajo debido a que el único equipo que consume energía es el motorreductor del talque agitador el cual estará prendido solo una hora al mes para asegurar la homogeneidad del producto.

Tabla 28. Consumo energético

Equipo	Tanque con mezclador
Cantidad	1
horas encendido/mes	1
Kw/h	0,74
Total/mes	\$ 272
Total/Año	\$ 3.259

\*Precio Kw/h Enero 2.018 \$365,19

**5.4.2 Intereses financieros.** Para la adquisición de los equipos se considera un préstamo ante una entidad financiera por el costo total de los equipos, a un plazo de 12 meses a una tasa de interés del 31,04% efectivo anual<sup>65</sup>, en el anexo L se observa la tabla de amortización del préstamo, por concepto de interés financieros se paga \$217.413 pagados en el año 1.

**5.4.3 Depreciaciones.** Se proyecta la depreciación de la maquinaria y equipo a 10 años como se observa en la Tabla 29.

Tabla 29. Depreciación maquinaria y equipo

	TOTAL	DEP. ACUMULADA
AÑO 1	\$ 140.994	\$ 0
AÑO 2	\$ 140.994	\$ 281.988
AÑO 3	\$ 140.994	\$ 422.982
AÑO 4	\$ 140.994	\$ 563.976
AÑO 5	\$ 140.994	\$ 704.970
AÑO 6	\$ 140.994	\$ 845.964
AÑO 7	\$ 140.994	\$ 986.958
AÑO 8	\$ 140.994	\$ 1.127.952
AÑO 9	\$ 140.994	\$ 1.268.946
AÑO 10	\$ 140.994	\$ 1.409.940

**5.4.4 Proyección costos Indirectos.** Para elaborar el flujo de caja se realiza una proyección de costos indirectos a 5 años.

<sup>65</sup> FORERO, Gabriel. Intereses de créditos de consumo bajarán para enero de 2018. Diario la Republica. 28 de diciembre de 2017. [Consultado el 10 de enero de 2018]. Disponible en:<<https://www.larepublica.co/finanzas/la-tasa-de-usura-para-enero-de-2018-sera-de-3104-2585375>>

Tabla 30. Proyección costos indirectos

	ELECTRICIDAD	INTERESES FINANCIEROS	DEPRECIACIONES	TOTAL
Año 1	\$ 3.259	\$ 217.414	\$ 140.994	\$ 361.666
Año 2	\$ 3.403	\$ 0	\$ 140.994	\$ 144.397
Año 3	\$ 3.554	\$ 0	\$ 140.994	\$ 144.548
Año 4	\$ 3.712	\$ 0	\$ 140.994	\$ 144.706
Año 5	\$ 3.877	\$ 0	\$ 140.994	\$ 144.871

## 5.5 VENTAS

Para elaborar el flujo de caja se realiza una proyección de ventas de los hidrófugos se espera un incremento en ventas anual del 5% anual teniendo en cuenta que Conalmin presenta una proyección anual de incremento de venta de piedra equivalente al 5%, además se tiene en cuenta que anualmente el producto incrementaría anualmente del 3,1%, los porcentajes fueron suministrados por la empresa debido a su experiencia como vendedores y compradores.

Tabla 31. Proyección ventas

	5%	25%	5%	25%	5%	25%	TOTAL
	CANTIDAD (l)		PRECIO/L		\$ VENTAS AÑO		
Año 1	1284	168	\$ 30.000	\$ 100.000	\$ 38.520.000	\$ 16.800.000	\$ 55.320.000
Año 2	1348	176	\$ 30.930	\$ 103.100	\$ 41.699.826	\$ 18.186.840	\$ 59.886.666
Año 3	1416	185	\$ 31.889	\$ 106.296	\$ 45.142.147	\$ 19.688.164	\$ 64.830.310
Año 4	1486	194	\$ 32.877	\$ 109.591	\$ 48.868.631	\$ 21.313.422	\$ 70.182.052
Año 5	1561	204	\$ 33.897	\$ 112.989	\$ 52.902.736	\$ 23.072.844	\$ 75.975.581

## 5.6 FLUJO DE CAJA

Para realizar el flujo de caja se tienen en cuenta todas las proyecciones anteriores a cinco años, con sus respectivos incrementos anuales, el flujo de caja se puede observar en el anexo O.

El VAN consiste en actualizar a valor actual presente los flujos de caja futuros que va a generar el proyecto, descontados de un tipo de interés (tasa de descuento), y compararlos con el importe inicial de la inversión. Se utiliza la tasa de descuento del 12% debido a discusiones realizadas con la empresa, obteniendo un valor de \$ 12.637.106 COP al obtener un valor positivo se muestra que el proyecto es viable.

La TIR muestra tasa de descuento que iguala la VAN a cero para el proyecto la TIR es del 78%, al ser la TIR mayor a la tasa de descuento el proyecto es factible del mismo modo se compra con los productos del mercado y se observa que el precio de venta es un precio competitivo para las marcas naciones.

Encontrando el VAN y la TIR, se completa el desarrollo de este capítulo y se evidencia el cumplimiento de todos los objetivos propuestos en el presente proyecto.

## 6. CONCLUSIONES

- Las materias primas pre-seleccionadas fueron mezclas de Silano y siloxano y E Fluorocarbonado presentando los mejores parámetros de disponibilidad, solvente, costo, tiempo de entrega, entre otros las MP A, MP B y MP E, por medio de la metodología de factores ponderados permitiendo esta metodología la fácil selección de las materias primas.
- De acuerdo al objetivo planteado, se seleccionó la MP E para la producción del protector hidrorrepelente por medio de la metodología de multicriterios cumpliendo el protector con los requerimientos de resistencia química y mecánica reduciendo el manchado en las piedras, los resultados de las pruebas experimentales evidencian una mejora de resistencia a daños causados por sustancias acuosas y oleosas, sin embargo, la protección evita por completo los daños de las piedras, pero si los reducen.
- Para el proceso de producción del protector hidrofugo se realizan las operaciones unitarias de almacenamiento, dosificación, mezclado, empaclado y etiquetado. De acuerdo al volumen de producción y venta de tanque comercial las dimensiones del tanque de almacenamiento deben ser de 18 cm y 26 cm para diámetro (D) y altura (h) respectivamente elaborado en acero inoxidable ANSI 304; el tanque de almacenamiento de agua de elaborado en plástico con una capacidad de 150 L; tanque de mezclado de 50 cm y 75 cm de D y h, elaborado en acero inoxidable ANSI 304 y su respectivo agitador tipo turbina.
- El proyecto es viable teniendo en cuenta que en análisis financiero del proyecto presenta una TIR del 78% y una VAN (Valor Actual Neto) de \$ 12.637.106 COP, con un precio de venta del producto elaborado de \$30.000 COP por litro (MP E al 5%) y \$100.000 COP (MP E 25%), además presenta un precio competitivo con el actual del mercado colombiano.

## 7.RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la empresa CONALMIN S.A.S. evaluar el protector hidrofugo seleccionado en sustratos diferentes a los evaluados.
- Se recomienda evaluar mezclas de agentes hidrófugos para mejorar el desempeño del producto.
- Se recomienda realizar análisis físicos y químicos del protector desarrollado para determinar características como tensión superficial y viscosidad con el objetivo de mejorar las propiedades del protector hidrofugo.
- Evaluar métodos de aplicación de los hidrófugos seleccionados para mejorar el rendimiento del hidrófugo

## BIBLIOGRAFÍA

ABACA, Juan. Manual para el mantenimiento industrial: Pinturas y Revestimientos. Ed. Editorama, 2003, p. 42-44.

ALCALDE, Manuel; VILLEGAS, Rosario. Guía para el estudio de la alteración de la piedra de los monumentos y de medidas de conservación; En: IDEA. p. 62-67.

ALONSO, Javier. Propiedades físicas: densidad y porosidad, 2010, p. 1-4 [citado el 7 de julio de 2017]. Disponible en Internet: <[https://www.researchgate.net/publication/237009661\\_PROPIEDADES\\_FISICAS\\_DENSIDAD\\_Y\\_POROSIDAD](https://www.researchgate.net/publication/237009661_PROPIEDADES_FISICAS_DENSIDAD_Y_POROSIDAD)>

ALONSO, Francisco Javier, et al. Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación; En: RECOPAR. Septiembre 2006, p. 23-32.

AMT-LABORATORIES. water absorption tube test RILEM II.4, 2006. Disponible en Internet: < <http://www.amt-labs.com/docs/RILEM%20II.4%20Test%20Method.pdf> >

Anónimo. ¿Qué es el Granito?, 2011, [citado el 20 de junio de 2017]. Disponible en Internet: <<https://tapuchino.wordpress.com/2011/07/29/que-es-el-granito>>

ASTM International. ASTM C 97 -02 Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone. 2002.

BELLERA, Carla, *et al.* Esaacle - Planta de producción de acetaldehído, s.f. BLUESTARS SILICONES. Bluesil Silicones, your solution for building protection. s.f. [citado el 15 de junio de 2017]. Disponible en Internet: <[https://silicones.elkem.com/EN/Our\\_offer/KEC/ListInstance\\_Brochure\\_Title/BuildingProtection\\_Brochure.pdf](https://silicones.elkem.com/EN/Our_offer/KEC/ListInstance_Brochure_Title/BuildingProtection_Brochure.pdf)>

BORJA, Sieirov, *et al.* Manual de cálculo planta de producción de ácido fórmico, 2015.

CALDERON, Felix. Selladores e Impermeabilizantes, 2011, [citado el 5 de julio de 2017]. Disponible en Internet: <<https://polimers.wordpress.com/2011/12/10/selladores-e-impermeabilizantes>>

CARMONA, Paula M. Estudio del comportamiento de dos tratamientos antigraffiti como protectores de materiales de construcción: interacción antigraffiti-substrato, propiedades y durabilidad. Universidad complutense de Madrid (España). 2010.

CARRANZA, Sebastián; ECHEVERRY, María. Ingeniería conceptual para el desarrollo de un producto protector para el cuidado y mantenimiento de la piedra natural. Universidad de América. Bogotá (Colombia), 2009.

CARRILLO, Jorge. Estudio de la eficiencia del acabado con resinas de flurocarbono en las propiedades de Hidro y Oleo repelencia de tejidos. Instituto Politécnico Nacional, 2006. 50-59 p

CASTRO, Ana; FERNANDEZ, Sthefanny. Desarrollo de la prefactibilidad técnico - financiera para la producción de una mezcla hidrófuga para la protección de mármol y de piedra natural en la empresa ARTENIXCOL LTDA. Universidad de América. Bogotá (Colombia), 2012.

CODENSA. Tarifas de energía eléctrica (\$/KWh) reguladas por la comisión de regulación de energía y gas (CREG) enero de 2018, 2018, [citado el 5 de febrero de 2018]. Disponible en Internet: <<https://www.codensa.com.co/document/Tarifario-enero-2018.pdf>>

DOMINGUEZ, Erika. Comportamiento de productos hidrófugos aplicados a piedras impregnadas de sales solubles: cambio en las propiedades hídricas y respuesta a los factores de deterioro. Universidad de Sevilla. 7-25 p. Disponible en Internet: <<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20218/fichero/Cap%25C3%25ADtulo+2-+Caracter%25C3%25ADsticas+de+estudio+de+los+materiales.pdf>>

Dow Corning. Productos Dow Corning para la protección de materiales de construcción, s.f.

DUQUE, Gonzalo. Manual de geología para ingenieros, 2017, [citado el 28 de julio de 2017]. Disponible en Internet: <<http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>>

ESPINOZA, Camila; JIMENEZ, Lorena. Desarrollo de una propuesta para la obtención de hidrogeles. Universidad América, Bogotá (Colombia), 2016.

ESPINOZA, Jesus; VILLEGAS, Rosario. La investigación científica aplicada a la caracterización de materiales y la selección de tratamientos de conservación. Dossier: La puerta de Córdoba. 2000. 120-130 p

GALINDO, Ana; GARCÍA, Nicolás. Desarrollo de impregnantes hidrófugos para el cuidado de piedras naturales, concreto y ladrillo, en exteriores de construcciones para industria química FLEX, a nivel laboratorio. Universidad de América. Bogotá (Colombia), 2011.

GONZÁLEZ, Rafael. La piedra natural y su presencia en el patrimonio histórico. 2009. 16-25 p

GROSSI, C.; ESBERT, R.; DÍAZ-PACHE, F. Degradación y durabilidad de materiales rocosos de edificación en ambientes urbanos. 1998. Revista Materiales de Construcción, 1998. vol. 48, no. 252, p. 5-25.

INGEOMINAS. Introducción a la geología con ejemplos de Colombia. 2001. 25-90 p. ISBN 9875911720

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: El Instituto, 2008, p. 1-42

\_\_\_\_\_. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá: El Instituto, 2008, p.1-38

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá: El Instituto, 1998, p.1-27

LÓPEZ-ARCE, Paula. La conservación de los geomateriales utilizados en el patrimonio. Daños por cristalización de sales, 2012. 97-105 p

MARITERE. Estudio del suelo Haucho, 2009. Disponible en internet: <<http://maritere-geologiamaritere.blogspot.com.co/2009/03/marco-geografico.html>>

MOSQUERA, María. Nuevos Productos para Restauración y Conservación del Patrimonio Cultural. RIIPAC: Revista sobre Patrimonio Cultural, 2013. 153-172 p

REVUELTA, Helena. Comportamiento de productos consolidantes aplicados a piedras impregnadas de sales solubles. Cambio en las propiedades mecánicas y respuesta a los factores de deterioro. Universidad de Sevilla, 2010. 1-60 p.

RODRÍGUEZ, J.; DURÁN SUÁREZ, J.; GARCÍA ,A , Determinación de la penetrabilidad de consolidantes y protectores en rocas. Un nuevo método . 2000. Revista Materiales de Construcción. vol. 50, no. 260, p. 15-26

RUIZ, Alexander. Ciclo de las rocas. 2012, [citado el 6 de agosto de 2017]. Disponible en Internet: <<https://biologiaygeologia4eso.wordpress.com/2012/06/03/ciclo-de-las-rocas>>

SOTO, Melissa. Evaluación de la efectividad del Silicato de Etilo como consolidante para rehabilitar albañilería en edificios patrimoniales. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2014. 1-33 p

STONECLEAR. Impregnaciones hidrófugas, s.f. Disponible en Internet: <<http://shop.stoneclearproductos.es/Tratamientos-de-proteccion/Impregnaciones-hidrofugas>>

TEJADA, Ariel. Rocas Ornamentales, 2001. Disponible en Internet: <<https://es.scribd.com/doc/56727451/ROCAS-ORNAMENTALES>>

VILLALOBOS, Javiera. Las rocas y sus procesos de formación, s.f. Disponible en Internet: <<http://www.geologia.uchile.cl/las-rocas-y-sus-procesos-de-formacion>>

VILLEGAS, R.; VALE, J. Evaluación de tratamientos de hidrofugación aplicados a piedras de catedrales andaluzas: II. Ensayo de cristalización de sales, 1993. Revista Materiales de Construcción. vol. 43, no. 230, p. 5-7

VILLEGAS, R.; VALE, J.; ALCALDE, M. Evaluación de tratamientos de hidrofugación aplicados a piedras calizas de Catedrales Andaluzas, 1991. Revista Materiales de Construcción. vol. 41, no. 223, p. 19-27

Wacker. SILRES® BS su especialista en Hidrofobicidad, s.f. Disponible en Internet: <<http://studylib.es/doc/5165365/silres%C2%AE-bs-su-especialista-en-hidrofobicidad>>

WAGNER, Carlos. El tubo de Karsten, 2000. 48-49 p. Disponible en Internet: <<https://es.scribd.com/document/137751391/Pipeta-Karsten>>

## **ANEXOS**

# ANEXO A

## MANUAL DE INSTALACIÓN PIEDRA MUÑECA

### Manual de Uso, Instalación y Mantenimiento Piedras Naturales

#### PIEDRA MUÑECA- PIEDRA BLANCA

Son rocas naturales compuestas principalmente por sílice y otros minerales, de origen sedimentario. Se encuentran superficialmente en la corteza de la tierra y aunque son las más blandas dentro del grupo de los productos naturales, son también muy abrasivas, por su gran contenido de sílice en forma de cuarzo. Por su composición molecular es muy difícil lograr brillo en ellas. Su mayor propiedad es la capacidad que tiene de absorber el calor de los rayos del sol



#### 1. TONOS Y ACABADOS

Al ser piedras naturales la piedra muñeca y la piedra blanca presenta variedad de tonos y vetas debido a su origen.



**APOMAZADO:** acabado mate sin rayas de disco y sin brillo



**NATURAL:** la piedra presenta rayas naturales del disco de corte.



## 2. PROPIEDADES DE LA PIEDRA NATURAL

Las piedras naturales presentan como características principales:

- Altamente absorbente.
- Resistente al tráfico alto.
- Variedad de Tonos
- Antideslizante
- Material Duradero
- Adiabático
- Resistente a la corrosión
- resistentes a pesos extremos (según dimensión)
- Resistente al Desgaste
- Sensible a la suciedad y manchado

## 3. TAMAÑOS

	FORMATO	0,305 x 0,305		0,305 x 1P		0,305 X 0,61	
	CAIBRE	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm
REFERENCIA	ACABADO						
PIEDRA MUÑECA	MATE	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	NATURAL	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PIEDRA BLANCA	MATE	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	NATURAL	✓	✓	✓	✓	✓	✓

## 4. USOS Y APLICACIONES

Las piedras tienen aplicaciones que van asociadas a fachadas, marcos de ventanas, dinteles, alfajías, etc. Para pisos se recomienda solamente la Muñeca por su mayor dureza y resistencia. Se utiliza en parques, plazoletas, piscinas, etc. Todas estas piedras son absorbentes, de manera que se recomienda sellarlas antes y después de la instalación.

## 5. GENERALIDADES DE INSTALACIÓN

- El éxito para realizar una correcta instalación depende de la buena planificación de los pasos a seguir. Asegúrese de que cuenta con todo el equipo, herramienta y materiales en buen estado; necesarios para realizar la instalación en particular.
- Se recomienda que la instalación este a cargo preferiblemente del Dpto. Técnico de Alfa. En caso contrario deberán contratar personal calificado en el oficio de las piedras naturales.

• Si la empresa presta el servicio de instalación, el cliente acepta que los cortes y ajustes que se realicen en obra generan polvo y ruido.

• Identifique plenamente las áreas donde se instalará el material.

• Al tratarse de un producto natural, existen variaciones de tonalidades propias de su origen, para obtener mejor homogeneidad del producto final, es necesario extender el material en el piso y mezclarlo antes de la instalación. En caso que se disponga de varias áreas se puede también hacer una clasificación por vetas, color y tono. Repartir el material en seco para ubicar el diseño y colocar los cortes en lugares poco visibles.

• En caso de instalar en fachadas asegúrese de seguir el diseño de la edificación de tal manera que los asentamientos y movimientos estructurales no afecten al material y utilizar un sistema apropiado de anclaje que evite el desprendimiento de las piezas y respetar la juntas de dilatación (Colocación, Estructurales y Diseño)

• Si la instalación tiene un diseño de piezas traslapadas se recomienda que este no sea mayor al 25% del largo de la baldosa.

#### 6. INSTALACIÓN DE TABLETA (PLANCHUELA) Y PLACAS PARA PISO O ENCHAPE

• Verifique que la superficie cumpla las siguientes condiciones TÉCNICAS como plomo, nivel, escuadra donde se requiera, plana y bien afinada (con lana de madera) y FÍSICAS como adherencia, resistencia del revoque, limpieza, humedad o resequedad, libre de polvo y contaminación que pueda afectar el pegue. No es recomendable instalar piedra sobre otro acabado que no sea mortero y/o concreto, ya que con el tiempo se soltarán porque el adhesivo necesita de una superficie más porosa para garantizar un buen agarre.

• Retirar de la tableta (planchuela) cualquier elemento contaminante o grasoso. Verificar la cara que va adherida de acuerdo al acabado ya que en algunos casos no es fácilmente identificable.

• Se recomienda ALFALISTO GRIS, para Piedra Muñeca, En el caso de Piedra Blanca se recomienda ALFALISTO BLANCO. Utilizando los adhesivos ALFA no es necesario remojar las piedras antes de la instalación. Seguir las recomendaciones de Uso, Almacenamiento y Preparación que vienen en los empaques de los adhesivos.

• Utilice la lana dentada adecuada al formato del revestimiento a instalar, esparza la mezcla en un solo sentido, instale la pieza presionando levemente sobre el área de contacto y haga un ligero movimiento en sentido contrario del surco sobre la mezcla, para asegurar la distribución homogénea del pegante. Luego golpee la pieza con un mazo de caucho hasta que aparezca la mezcla por los lados sin rebosar la superficie de la tableta.

• Se debe considerar un espesor no inferior a 5 mm para el material de pegue.

• Utilizar cuerdas y líneas maestras, nivelar con boquilla metálica.

- Utilizar separadores como guías para evitar desplazamientos y obtener juntas perfectas.
- La dilatación recomendada entre piezas es de aprox. 2 mm. Esto permite el emboquillado, aumenta la adherencia lateral, permite dilatación térmica, rellena espacios impidiendo filtraciones, etc. Nunca instale a tope placas o planchuela.

- Tenga en cuenta el porcentaje mínimo de inclinación del 1% para evacuación de aguas.

**• Realice controles de adherencia, levantando algunas de las piezas y observando la homogeneidad del ALFALISTO.**



- Finalizada la instalación, se debe limpiar la junta y la superficie con una esponja y agua limpia a fin de remover residuos de mezcla.
- Antes de iniciar el proceso de emboquillado cerciórese que la piedra este sellada.



emboquillado cerciórese que la piedra este sellada.

- Para emboquillar se recomienda utilizar ALFACOLOR 1-5 o 5-15, según el ancho de la junta de dilatación. Esparcir la mezcla con una llana o una espátula de caucho hasta llenar por completo las juntas.

• Antes que se seque el emboquille, se debe limpiar de nuevo la superficie con una esponja y agua, para evitar manchas.

- Una vez seca la superficie, lavar con agua limpia, aplicar sellador para piedra, mármol y granito ALFA, para proteger el producto, esto es muy importante por la alta absorción de este tipo de material.

- Si la obra continúa después de haber sido instalado el producto protéjalo siempre, puede ser con plástico o cartón para evitar rayones, manchas y deterioro. Toda construcción conlleva movimientos grandes de arena y materiales abrasivos.

#### 7. RECOMENDACIONES PARA EL ALMACENAMIENTO DE TABLETAS

- No apile más de 3 cajas de producto
- Almacene el producto de canto, no acostado
- Almacenar en zonas secas y preferiblemente sobre una estiba o tabla que separe la base de las cajas del piso.
- Procure sacar el material de las cajas solamente cuando se va a instalar.
- Si considera necesario alguna información adicional del producto o un completo de obra, guarde alguna de las cajas para su identificación posterior.



## 8. MANTENIMIENTO

- Barrer o aspirar permanentemente para retirar partículas abrasivas. Utilizar preferiblemente escobas o cepillos de fibras suaves natural o sintética.
- Se recomienda instalar un tapete a la entrada para recoger la arena de los zapatos (Atrapa-mugre). Las partículas abrasivas deterioran la textura del piso.
- Realizar la limpieza con traperos y agua, utilizar detergente multiusos alfa o jabones líquidos neutros.
- Remueva los líquidos y en general las manchas inmediatamente ocurran. Recójalas o absorbalas cuidando que no se esparzan. Posteriormente utilice detergente multiusos Alfa y enjuague bien.
- Si se presenta alguna mancha que no se puede retirar con procedimientos normales consulte a nuestro Departamento Técnico.
- Si el piso de piedra natural se encuentra demasiado percutido, opaco o rallado puede ser recuperado mediante procedimientos mecánicos y químicos especiales. Consulte con nuestro departamento técnico.
- Los mesones de granito se entregan pre-sellados, sin embargo es recomendable sellarlos trimestralmente utilizando sellante alfa para piedra mármol y granito.

## 9. ADVERTENCIAS

Las piedras naturales son productos de la naturaleza, y por lo tanto, sujetas a variaciones cromáticas y de veta. La empresa no puede garantizar que los materiales entregados serán exactamente iguales a los exhibidos y/o a las muestras entregadas, aun siendo de la misma procedencia y/o referencia.

Las vetas o porosidades no son defecto de calidad y no se aceptan como casual de reclamación

Cuando el material se entrega en acabado natural, sin pulir o semi-procesado, la empresa no se responsabiliza por el acabado o terminado final de tales materiales

Para las reposiciones y/ o reparaciones que se deban realizar, la empresa no garantiza la exactitud en los tonos de los materiales suministrados por la diferencia entre las placas/lotes de producción

No se recomienda el uso de las piedras naturales para piscinas que tengan tratamiento con sales, la empresa no se responsabiliza por los daños que sufran las piedras en soluciones salinas.

## ANEXO B

### LISTADO DE HIDRÓFUGOS OFRECIDOS EN EL MERCADO

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	SOLUBILIDAD	GRUPO	USOS	FABRICANTE
ST-100	Bajos compuestos volátiles, penetrante sellador para superficies	Agua	Florocarbonados	ladrillo concreto terracota arenisca	DuPont
ST-110	Bajos compuestos volátiles, penetrante sellador para superficies poco porosas.	Agua	Florocarbonados	granito y pizarra	DuPont
ST-200	Sellador de alto rendimiento penetrante base solvente	Butilacetato	Florocarbonados	ladrillo concreto granito caliza mármol terracota arenisca y pizarra	DuPont
ST-300	Libre de compuestos volátiles, para sustratos sensibles a ácidos	Agua	Florocarbonados	concreto granito caliza y mármol	DuPont
ST-500	Libre de compuestos volátiles, alto rendimiento.	Agua	Florocarbonados	ladrillo concreto granito caliza mármol terracota arenisca y pizarra	DuPont
Paraloid B-72	Resina termoplástica para múltiples usos, capaz de formar películas suaves	Cetonas, ésteres, hidrocarburos aromáticos y clorurados.	Resina	madera, piedra, mármol, metal	Rohm and Haas Company
Paraloid B-66	Resina acrílica termoplástica sólida.	Cetonas, ésteres, hidrocarburos aromáticos y clorurados.	Resina	aerosoles, selladores de concreto, recubrimientos plásticos, pinturas para tráfico y recubrimientos protectores para metales.	Rohm and Haas Company

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	SOLUBILIDAD	GRUPO	USOS	FABRICANTE
Xiameter OFS-6403	Tratamiento hidrofóbico, estructura molecular pequeña para penetración profunda	Solvente orgánico como Isopropanol y etanol	Silano	Edificios comerciales, garajes, autopistas, Modificación del relleno	Dow Corning
Xiameter OFS-6441	Silano de alta pureza. penetrará y Repelente al agua.	Solvente orgánico como Isopropanol y etanol	Silano	Edificios comerciales, garajes, autopistas, Modificación del relleno	Dow Corning
Xiameter OFS-2306 Silane	Protege al hormigón del ataque de los iones de cloro	Solvente orgánico como Isopropanol y etanol	Silano	Hormigón	Dow Corning
Xiameter OFS-6697 Silane	No cambia la estética ni la respirabilidad del sustrato.	Solvente orgánico como Isopropanol y etanol	Silano	Piedra natural y sustratos neutros	Dow Corning
Dow Corning Z-6689	Efecto perlado rápido y duradero; se enlaza químicamente a la superficie.	Solvente orgánico como Isopropanol y etanol	Emulsión Silano siloxano	Sustratos neutros a alcalinos como ladrillo, piedra y hormigón	Dow Corning
Dow Corning 1-6184	Puede almacenarse hasta un año en forma diluida.	Agua	Siloxano de base acuosa	Sustratos neutros, ladrillo, piedra caliza, arena; juntas cementicias	Dow Corning
Dow Corning® 520	Penetra profundamente la superficie sin modificar su aspecto	Agua	Emulsión Silano siloxano	Sustratos alcalinos o neutros como hormigón, argamasa, ladrillos y piedra	Dow Corning
Dow Corning IE-6683	Bajo nivel de VOC. Repelente de agua	Agua	Emulsión Silano siloxano	Sustratos levemente ácidos a alcalinos: hormigón, piedra, ladrillo	Dow Corning
Xiameter OFS-0777	Soluble en agua, brinda repelencia al agua a diversos sustratos	Agua	Siliconatos	Neutro, ladrillos, cerámicas	Dow Corning

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	SOLUBILIDAD	GRUPO	USOS	FABRICANTE
Xiameter MH-1109	Excelente hidrofobicidad sobre diferentes sustratos.	Thinner (solventes orgánicos)	Siloxano	pedra caliza, piedra arenisca, granito, mármol, ladrillo y piedra	Dow Corning
Xiameter MHX-1107	Tratamiento hidrófobo para placas de yeso, bloques de yeso y para materiales en polvo y granulados.	Agua	Siloxanos	Yeso	Dow Corning
Dow Corning 2-9034	Alta y duradera repelencia de agua	Agua	Emulsión Silano siloxano	Madera pre-tratada o no tratada y en formulaciones utilizadas en procesos de tratamiento a presión	Dow Corning
SILRES BS 1001	Imprégnante hidrófugo de alta calidad	Agua	Silano siloxano	Superficies minerales	Wacker
SILRES BS 1803 A	eficaz en aplicaciones que requieren la prevención de la absorción de agua en niveles de adición muy bajos	Agua	Siliconas	Hormigón	Wacker
SILRES BS 25 A	Proporciona una superficie resistente al agua y al aceite	Agua	Silanos, siliconas y polímeros	Productos cementicios	Wacker
SILRES BS 280	repelente de agua de alta calidad para la impregnación de materiales de construcción	-	Silano siloxano	Minerales, piedras naturales	Wacker
SILRES BS 290	Uso general para hidrofugante	Solventes orgánicos	Silano siloxano	Minerales y sustratos alcalinos	Wacker

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	SOLUBILIDAD	GRUPO	USOS	FABRICANTE
SILRES BS 30	En forma no diluida, proporciona repelencia al agua y las manchas de sustratos	-	Silano siloxano	mármol, piedra caliza, pizarra y teja de barro saltillo.	Wacker
SILRES BS 3003	Alta calidad, repelentes de agua de uso general para Impregnación y cebado de superficies minerales.	Agua	Silano siloxano	Hormigón	Wacker
SILRES BS 30 <sup>a</sup>	Repelente al agua y las manchas mientras que proporciona un aspecto mejorado.	-	siloxanos	piedra caliza, pizarra y teja de barro saltillo.	Wacker
SILRES BS 32 A	Resalta el color de la superficie, repele agua y aceite en los sustratos.	Agua	Emulsión	Hormigón, baldosas y piedra natural	Wacker
SILRES BS 33 A	Repele agua y aceite.	Agua	siliconas	Hormigón, baldosas y piedra natural	Wacker
BLUESIL RES 4518	Destinado principalmente para el tratamiento de edificios	Hidrocarburos con alto punto de ebullición	Resina de silicona de metilo	piedra caliza, ladrillos, azulejos y yeso.	Bluestar Silicones:
BLUESIL WR 224	Diseñado para proteger fachadas contra humedad	Hidrocarburos alifáticos	oligómero alquil polisiloxano	Ladrillo, piedra caliza, piedra arenisca, yesos.	Bluestar Silicones:
BLUESIL BP 9400	oligómero alquil polisiloxano sin disolvente diseñado para proteger fachadas contra la humedad.	Hidrocarburos alifáticos	Siloxanos	Ladrillo, piedra caliza, piedra arenisca, yesos.	Bluestar Silicones:

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	SOLUBILIDAD	GRUPO	USOS	FABRICANTE
BLUESIL BP 9710	respeta el medio ambiente, libre de cualquier disolvente orgánico y que no contiene agente tensoactivo ecotóxicos	Agua	Emulsión de siloxanos	Ladrillo, piedra caliza, piedra arenisca, yesos.	Bluestar Silicones:
Funcosil FC Plus	intensificador del color	-	siloxano	Minerales porosos	Remmers
Funcosil AS	Previene daños en fachadas por causados por heladas	Agua	siloxano acrilato	Ladrillo, concreto, piedra	Remmers
Funcosil SNL	reactivos incoloros, en un disolvente de poco olor para la impregnación hidropelente de materiales de construcción	Base solvente	Siloxanos oligómeros	minerales porosos.	Remmers
Funcosil SL	posee un amplio espectro de actuación, especialmente como impregnante para piedra natural	Hidrocarburos alifáticos	Alquil alcoxisiloxano	Piedra natural	Remmers
Funcosil BI	Para la impregnación hidrófoba del hormigón en el sector de tráfico	Hidrocarburos alifáticos	Alquil alcoxisiloxano	Hormigón	Remmers
Funcosil WS	impregnante hidrofugante acuoso para materiales de construcción minerales	Hidrocarburos alifáticos	Siliconas	ladrillo, revoques minerales, hormigón	Remmers
Funcosil OFS	Impregnación de interiores y exteriores.	Agua	Siliconas		Remmers
Funcosil AG	Impregnación repelente a la suciedad, las grasas, el agua y el aceite a base de copolímero acrílico de flúor con "efecto anticarteles"	Hidrocarburos alifáticos	Copolímero acrílico	Piedra arenisca, piedra caliza, hormigón	Remmers

**ANEXO C**  
**DATOS COMPLETOS OBTENIDOS DE EXPERIMENTACIÓN SEGUNDA ETAPA.**

		ANGULO DE CONTACTO (ángulo)			ABSORCION DE AGUA (%)			TUBO KARSTEN (ml/h)			EROSION QUIMICA			MANCHADO		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>Sustrato 1</b> <b>PIEDRA</b> <b>MUÑECA</b>	<b>MP A [4%]</b>	30,62	39,75	32,34	2,14	2,76	3,21	2,80	2,50	2,60	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	3,00
	<b>MP A [10%]</b>	62,25	65,30	61,10	2,02	2,87	2,11	2,00	2,20	2,20	1,00	0,00	0,00	2,00	2,00	3,00
	<b>MP B [5%]</b>	82,54	83,47	82,59	2,18	2,87	2,76	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	4,00	4,00	4,00
	<b>MP B [20%]</b>	90,83	85,42	84,36	1,98	1,79	2,32	0,30	0,30	0,30	0,00	1,00	1,00	5,00	5,00	5,00
	<b>MP E [5%]</b>	112,36	120,93	120,15	1,11	1,09	1,11	0,20	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	3,00	3,00	3,00
	<b>MP E [25%]</b>	125,82	130,50	135,82	0,98	1,00	1,21	0,20	0,20	0,20	0,00	1,00	0,00	3,00	3,00	3,00
<b>Sustrato 2</b> <b>PIEDRA</b> <b>BLANCA</b>	<b>MP A [4%]</b>	66,52	45,59	49,89	2,21	2,76	2,82	2,40	2,40	2,40	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00
	<b>MP A [10%]</b>	70,48	75,05	74,30	1,98	1,67	1,59	2,80	2,00	2,00	0,00	0,00	1,00	2,00	2,00	2,00
	<b>MP B [5%]</b>	88,22	81,86	81,05	1,98	1,76	2,00	0,40	0,50	0,50	0,00	0,00	1,00	3,00	3,00	3,00
	<b>MP B [20%]</b>	93,85	95,18	95,05	1,11	1,21	1,76	0,20	0,30	0,20	1,00	0,00	0,00	4,00	5,00	5,00
	<b>MP E [5%]</b>	101,97	121,98	122,82	1,00	1,08	1,21	0,20	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	3,00	3,00	2,00
	<b>MP E [25%]</b>	132,03	121,11	136,84	1,00	0,79	1,54	0,20	0,30	0,20	0,00	0,00	1,00	3,00	3,00	3,00
<b>Sustrato 3</b> <b>MARMOL</b> <b>NEGRO</b>	<b>MP A [4%]</b>	50,61	52,76	52,39	0,08	0,08	0,08	0,40	0,30	0,40	1,00	0,00	0,00	3,00	4,00	4,00
	<b>MP A [10%]</b>	57,59	57,62	56,90	0,08	0,06	0,06	0,10	0,10	0,10	1,00	0,00	1,00	4,00	4,00	4,00
	<b>MP B [5%]</b>	69,48	78,28	67,99	0,17	0,17	0,16	0,30	0,30	0,30	0,00	1,00	0,00	5,00	5,00	5,00
	<b>MP B [20%]</b>	90,03	85,51	88,66	0,15	0,10	0,15	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	5,00	5,00	5,00
	<b>MP E [5%]</b>	89,94	97,50	90,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	4,00	5,00	5,00
	<b>MP E [25%]</b>	96,78	103,01	101,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	5,00	5,00	5,00
<b>Sustrato 4</b> <b>MARMOL</b> <b>CAFÉ</b>	<b>MP A [4%]</b>	52,81	45,71	48,03	0,04	0,06	0,09	0,30	0,30	0,30	0,00	0,00	1,00	3,00	4,00	4,00
	<b>MP A [10%]</b>	75,27	81,20	80,54	0,07	0,04	0,04	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	1,00	4,00	4,00	4,00
	<b>MP B [5%]</b>	72,89	75,22	61,14	0,10	0,04	0,09	0,20	0,30	0,30	0,00	1,00	0,00	5,00	5,00	5,00
	<b>MP B [20%]</b>	85,32	82,02	77,74	0,16	0,16	0,16	0,10	0,10	0,10	1,00	1,00	1,00	5,00	5,00	5,00
	<b>MP E [5%]</b>	77,31	89,41	83,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	4,00	5,00	5,00
	<b>MP E [25%]</b>	89,21	88,71	89,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	5,00	5,00

ANEXO D  
FUNCIONES DE TRANSFORMACIÓN PARA PIEDRA MUÑECA

Del Gráfico 1 al Gráfico 5 se puede observar las funciones de transformación utilizadas para la determinación del agente hidrofugante para la piedra muñeca.

Gráfico 1. Transformación para ángulo de contacto – Piedra muñeca

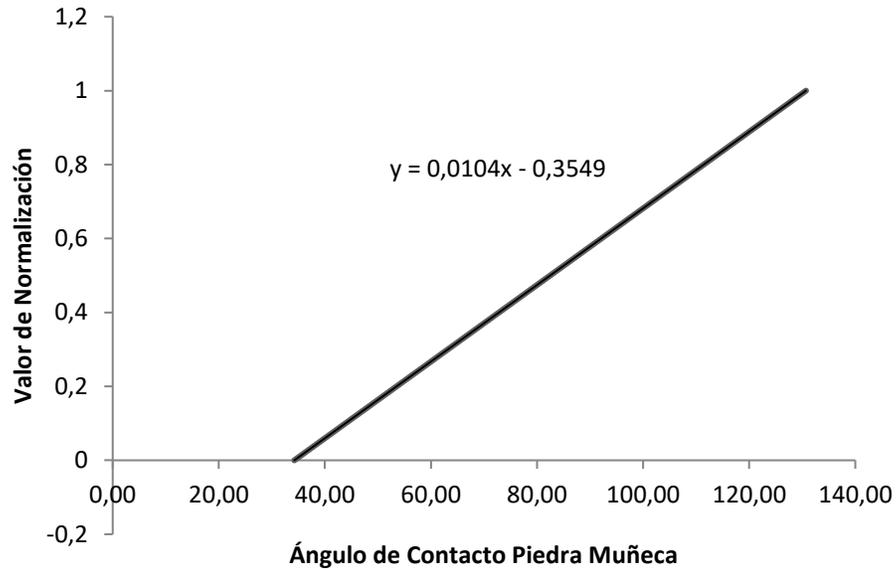


Gráfico 2. Transformación para absorción de Agua – piedra muñeca

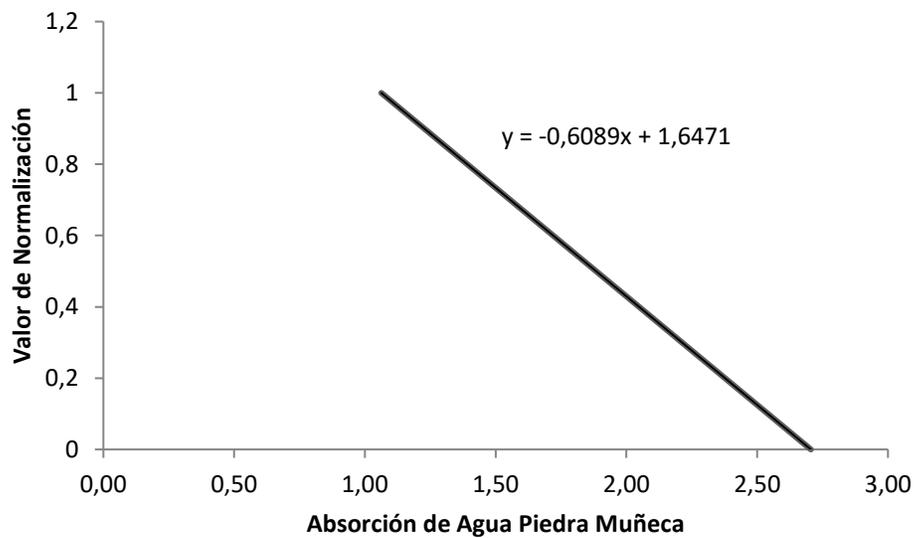


Gráfico 3. Transformación para tubo de Karsten – piedra muñeca

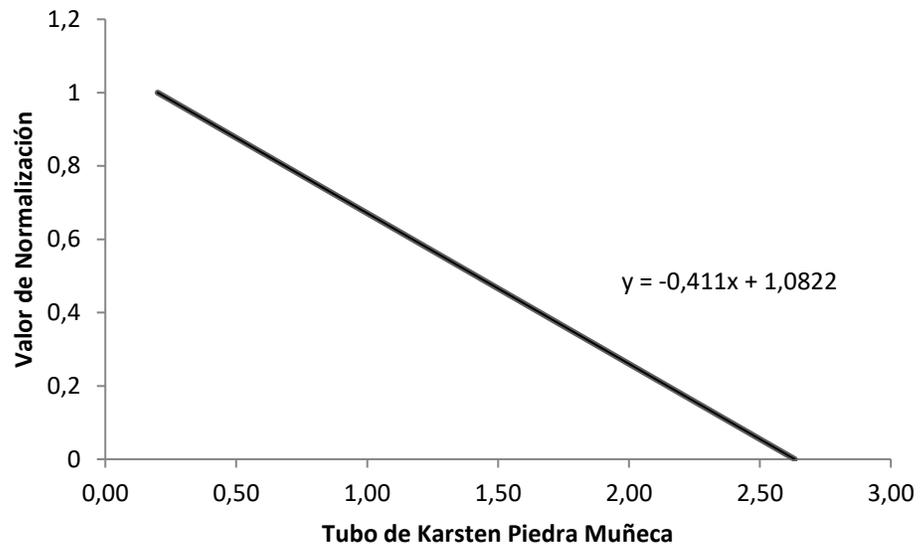


Gráfico 4. Transformación para erosión química – piedra muñeca

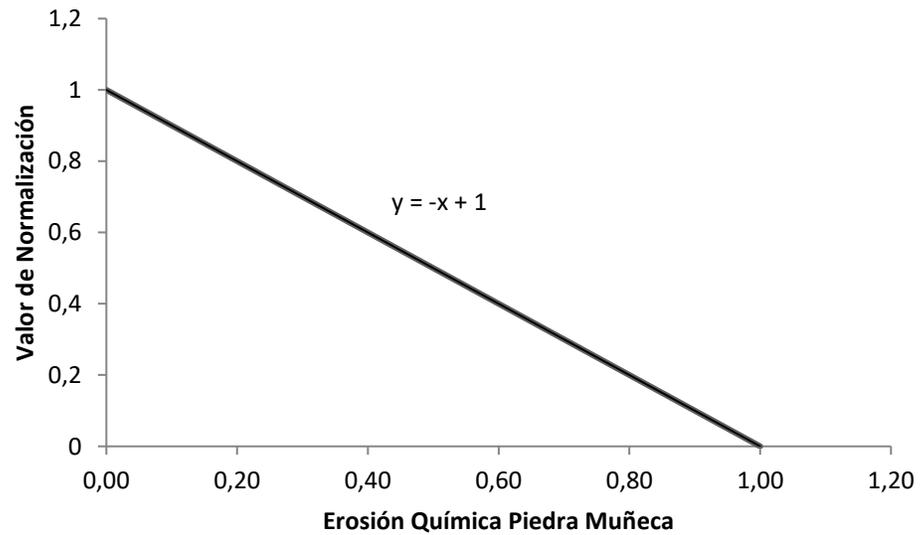
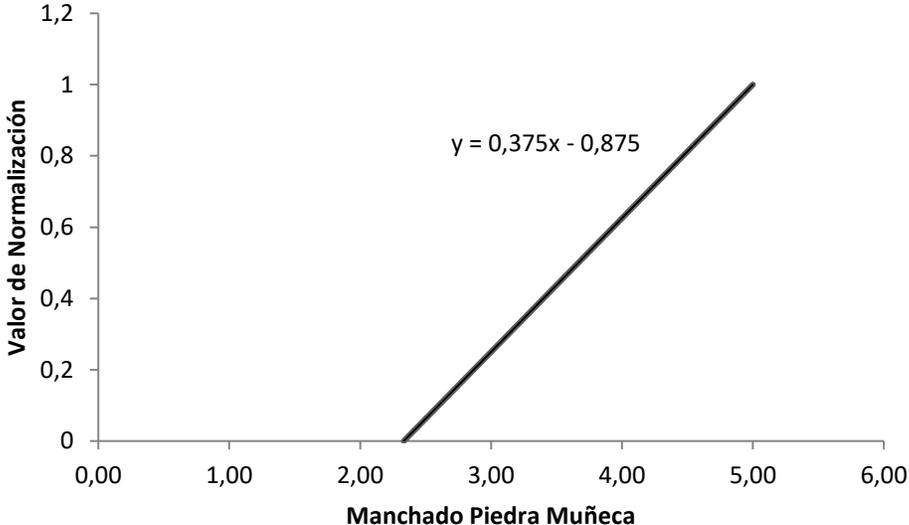


Gráfico 5. Transformación para manchado – piedra muñeca



ANEXO E.  
FUNCIONES DE TRANSFORMACIÓN PARA PIEDRA BLANCA

Del Gráfico 6 al Gráfico 10 se puede observar las funciones de transformación utilizadas para la determinación del agente hidrofugante para piedra blanca.

Gráfico 6. Transformación para ángulo de contacto – piedra blanca

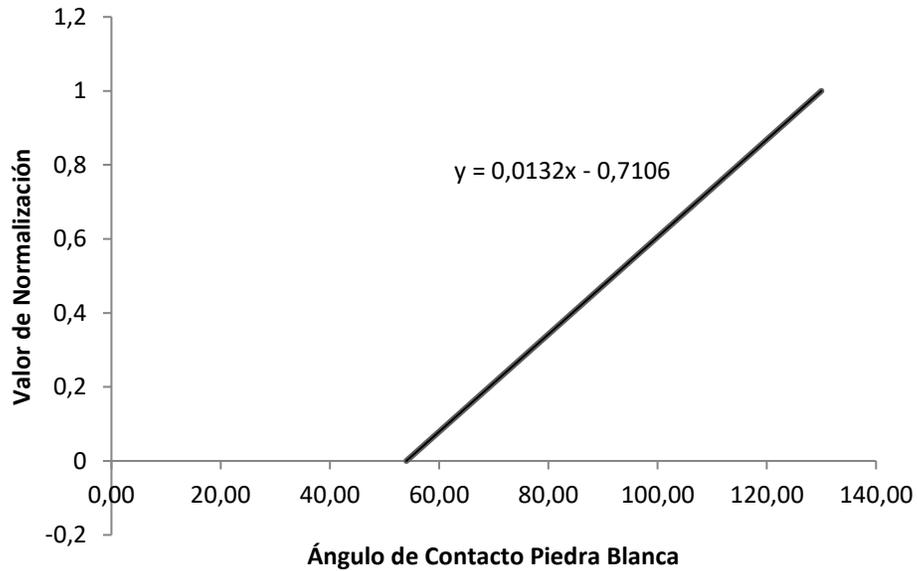


Gráfico 7. Transformación para absorción de agua – piedra blanca

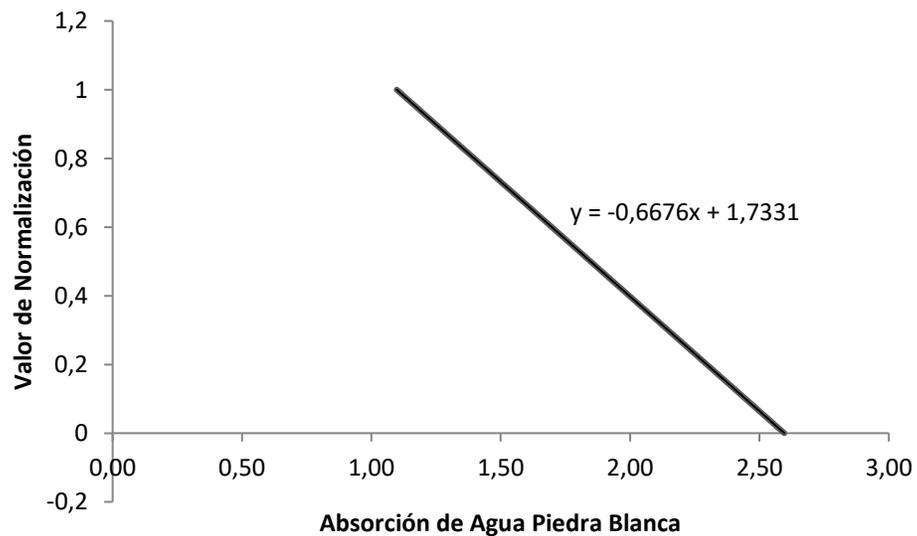


Gráfico 8. Transformación para tubo de Karsten – piedra blanca

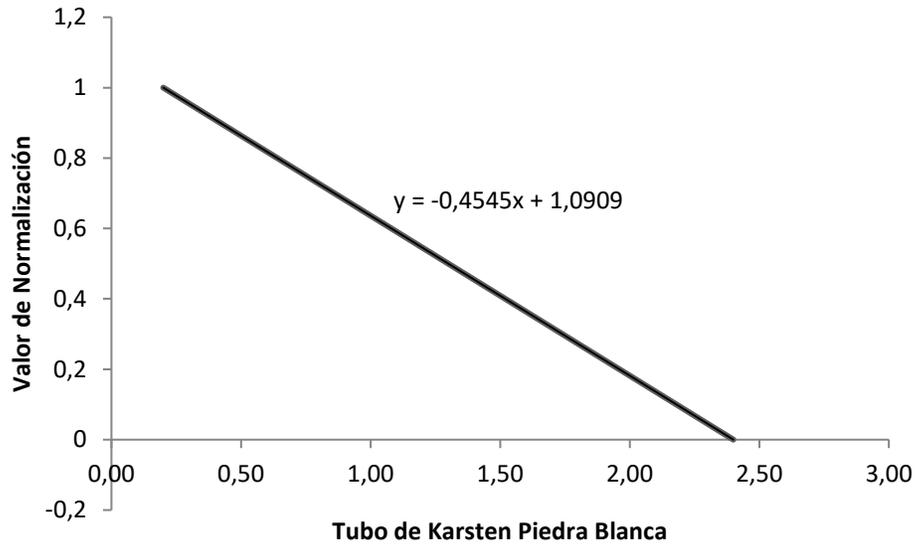


Gráfico 9. Transformación para erosión química – piedra blanca

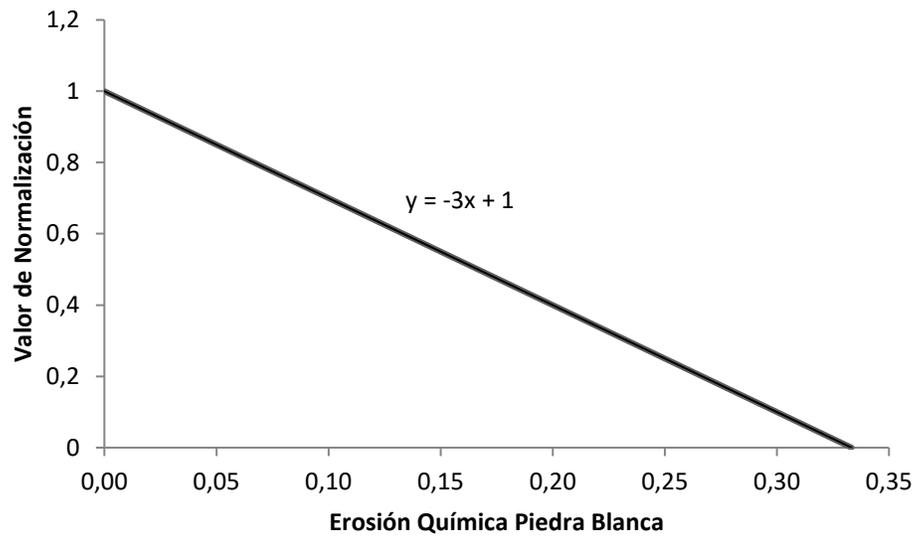
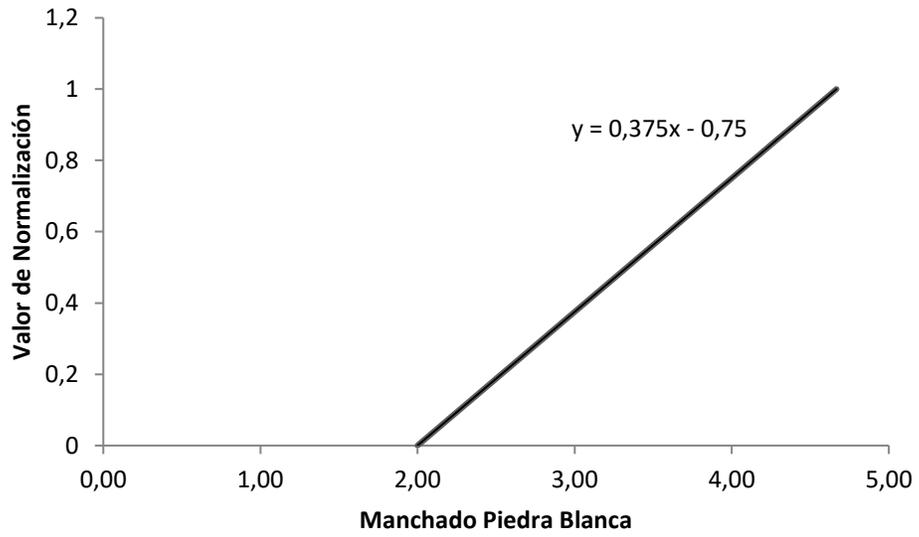


Gráfico 10. Transformación para manchado – piedra blanca



ANEXO F  
FUNCIONES DE TRANSFORMACIÓN PARA MÁRMOL NEGRO

Del Gráfico 11 al Gráfico 15 se puede observar las funciones de transformación utilizadas para la determinación del agente hidrofugante para el mármol negro.

Gráfico 11. Transformación para ángulo de contacto – mármol negro

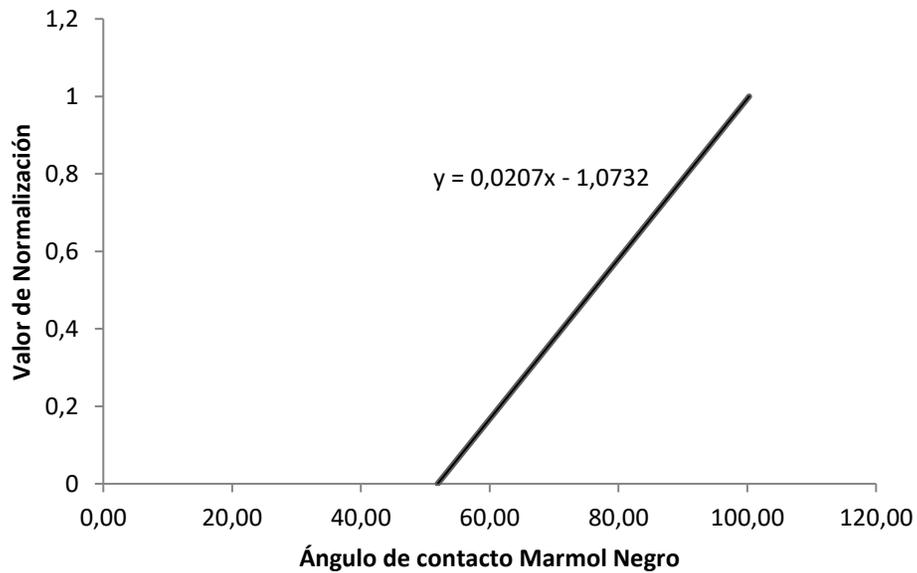


Gráfico 12. Transformación para absorción de agua – mármol negro

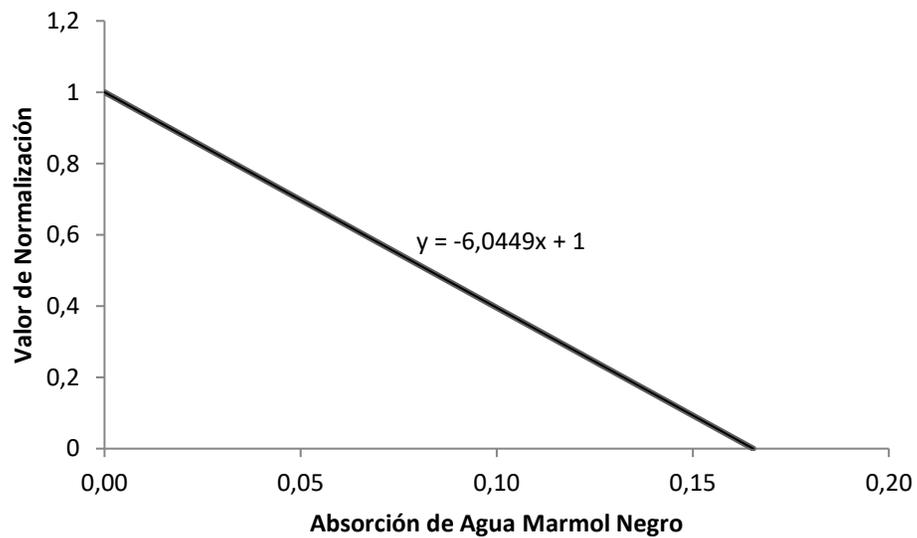


Gráfico 13. Transformación para tubo de Karsten – mármol negro

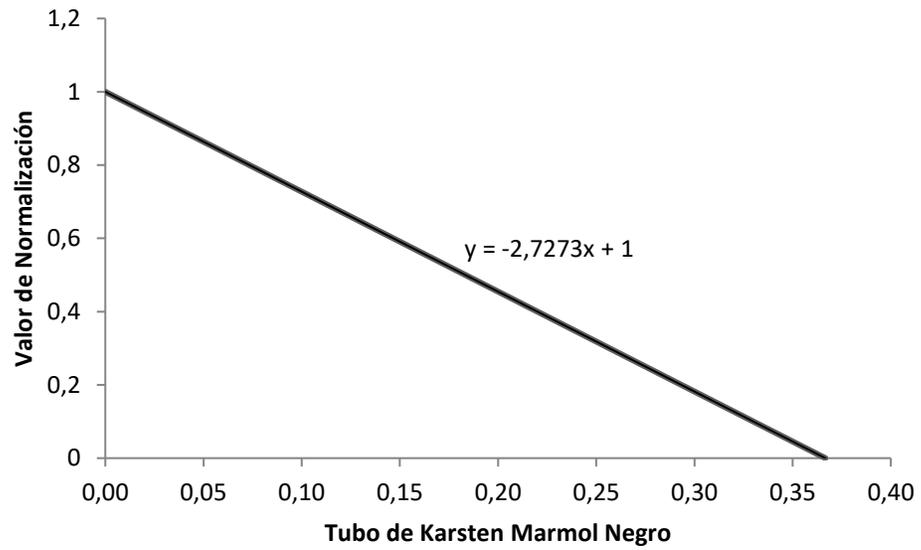


Gráfico 14. Transformación para erosión química – mármol negro

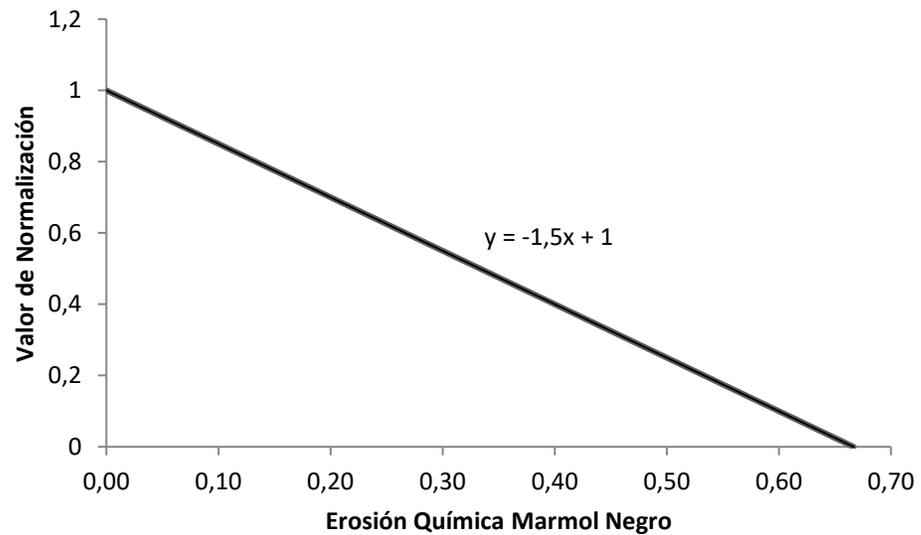
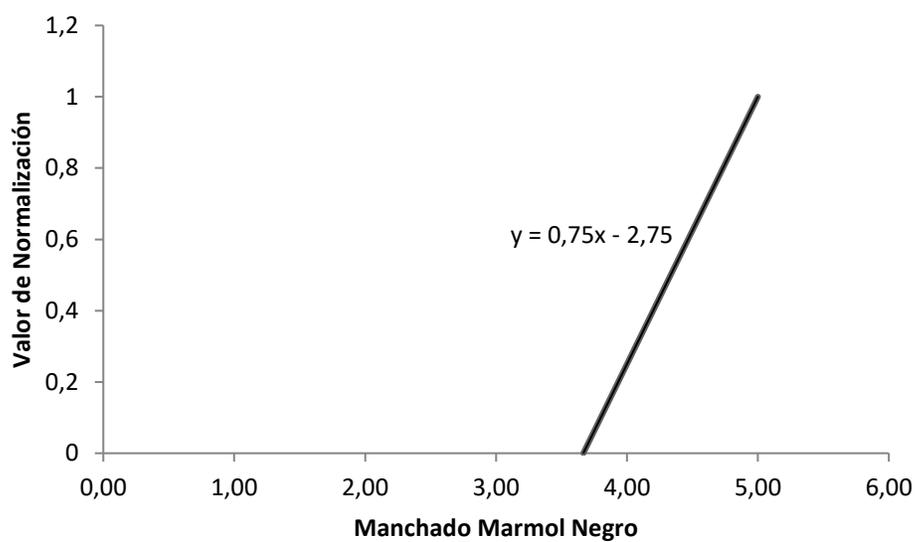


Gráfico 15. Transformación para manchado – mármol negro



ANEXO G  
FUNCIONES DE TRANSFORMACIÓN PARA MÁRMOL CAFÉ

Del Gráfico 16 al Gráfico 20 se puede observar las funciones de transformación utilizadas para la determinación del agente hidrofugante para el mármol café.

Gráfico 16. Transformación para ángulo de contacto – mármol café

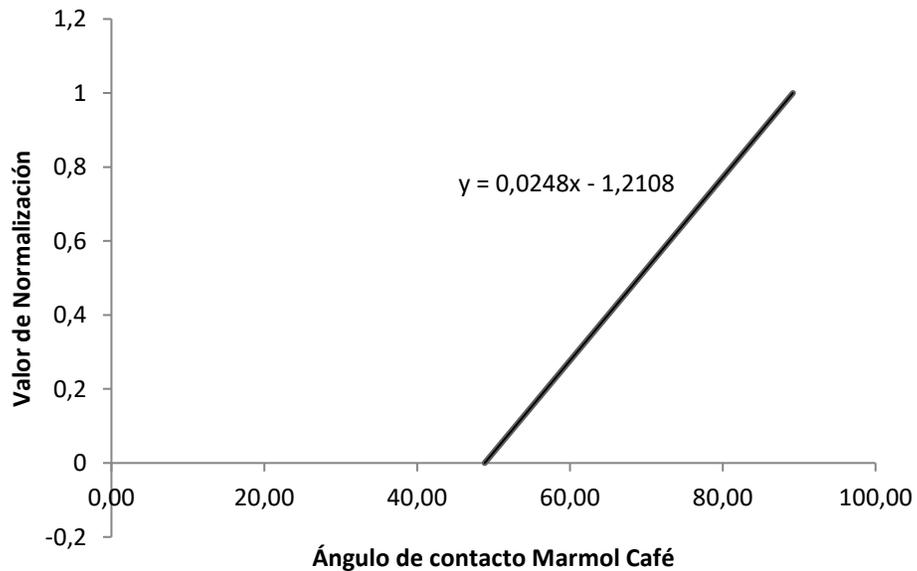


Gráfico 17. Transformación para absorción de agua – mármol café

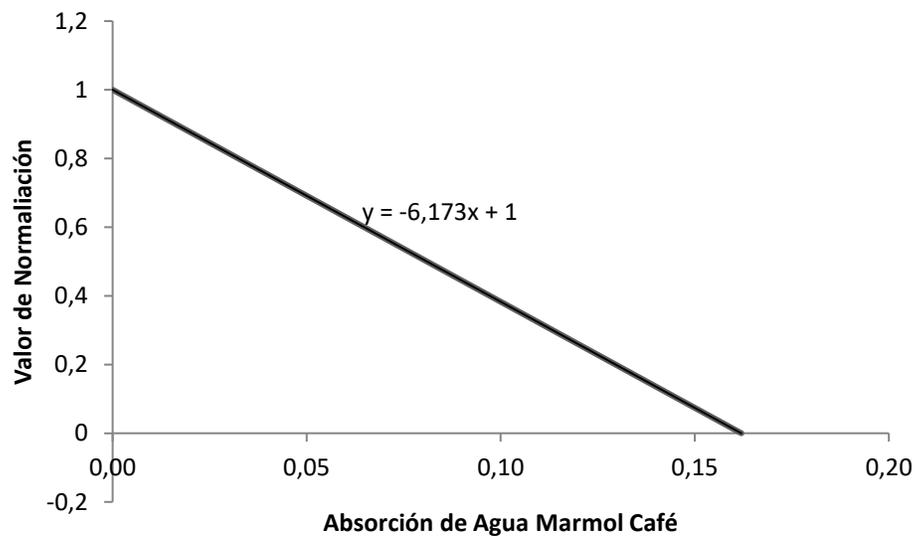


Gráfico 18. Transformación para tubo de Karsten – mármol café

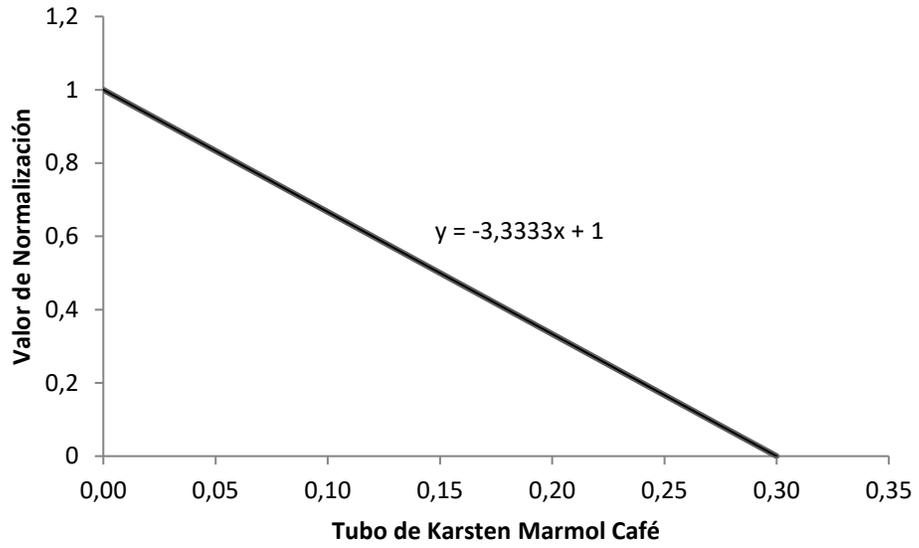


Gráfico 19. Transformación para erosión química – mármol café

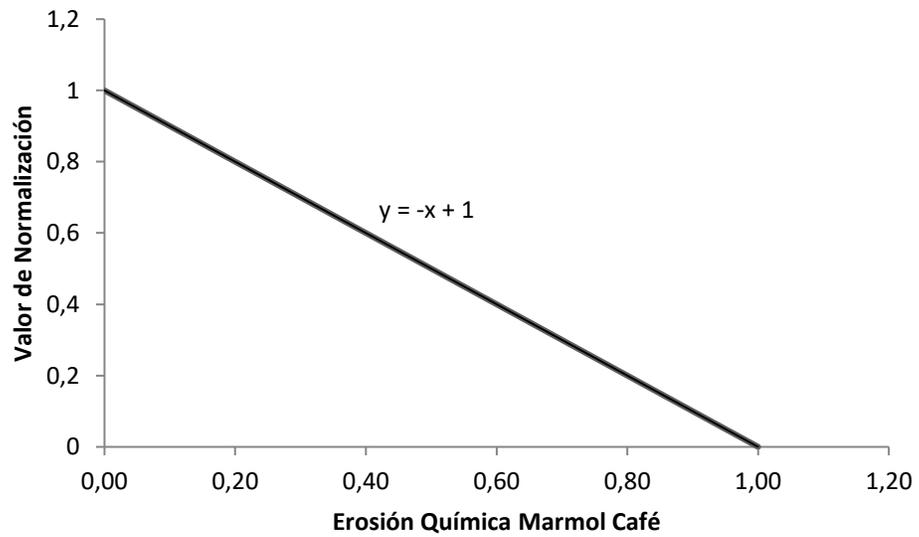
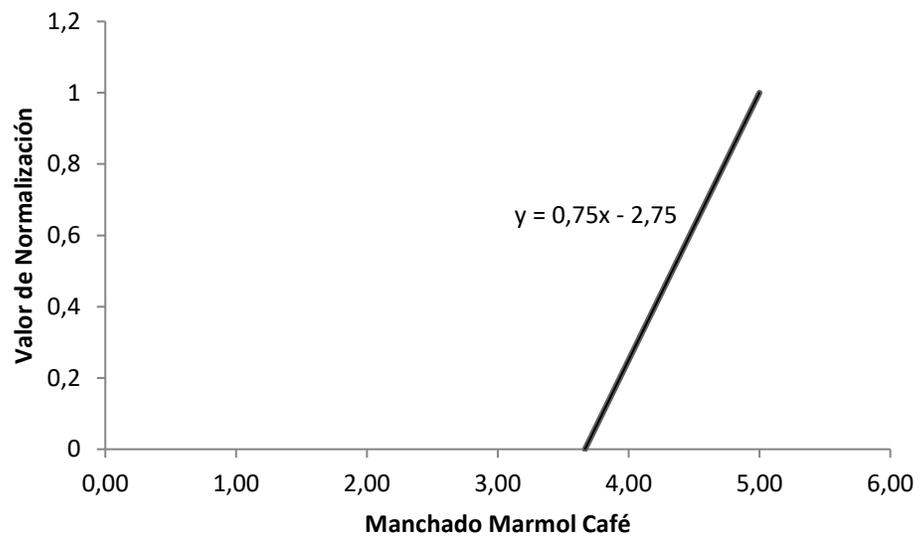


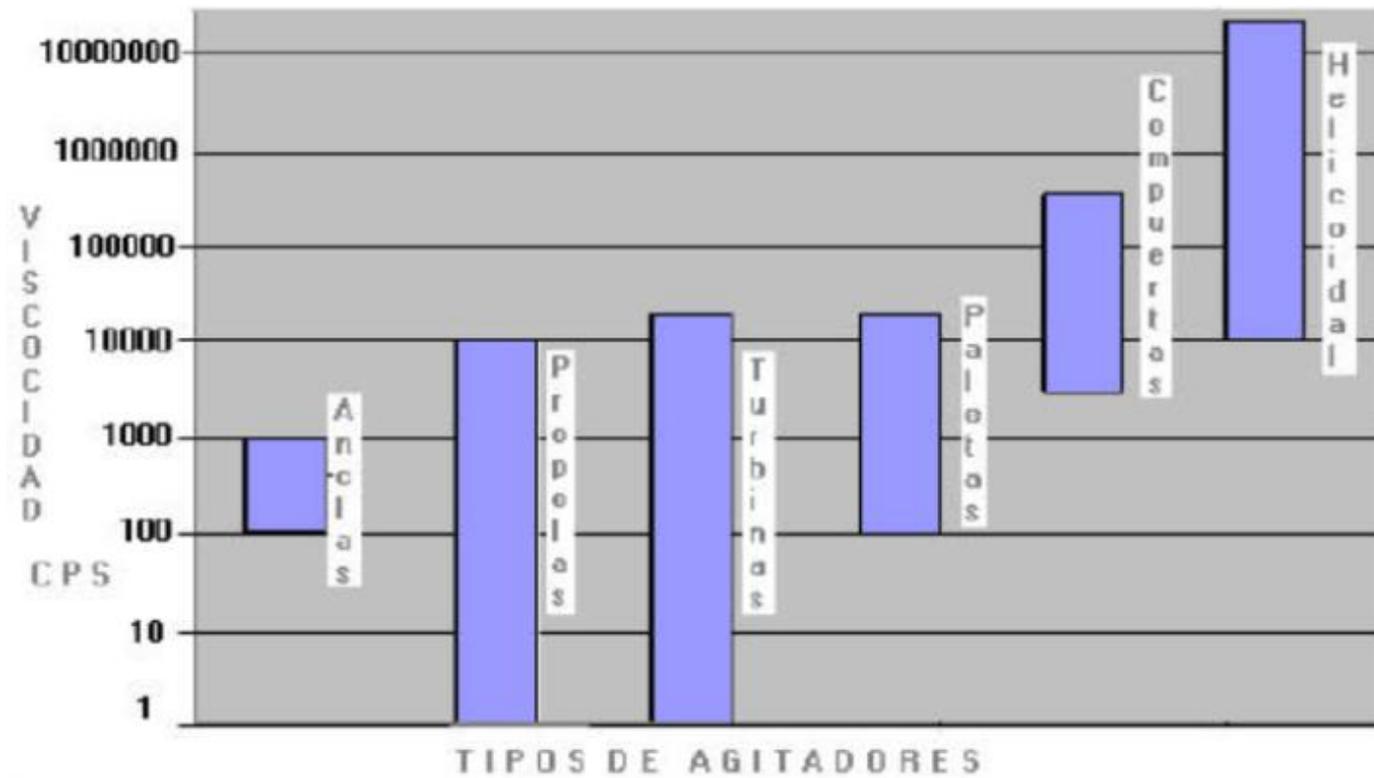
Gráfico 20. Transformación para manchado – mármol café



## ANEXO H. RANGO DE VISCOSIDADES PARA AGITADORES

En la Figura 12 se encuentra los tipos de agitadores usados de acuerdo a la viscosidad del producto.

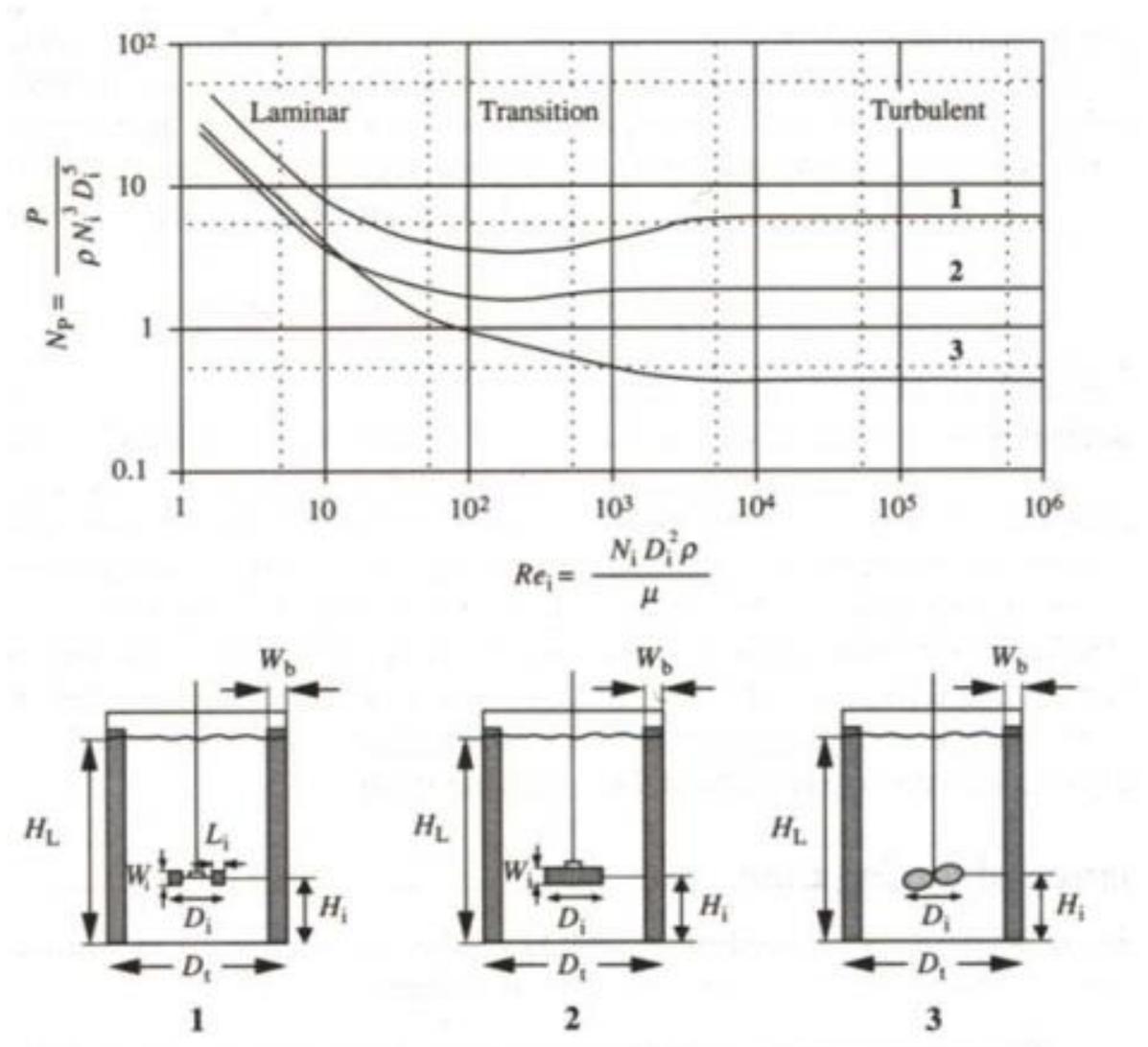
Figura 12. Rango de viscosidad para agitadores



ANEXO I  
 NUMERO DE POTENCIA EN FUNCIÓN DE REYNOLDS

En la Figura 13 se muestra la gráfica que relaciona el número de potencia con el número de Reynolds.

Figura 13. Numero de potencia en función de Reynolds



ANEXO J  
FICHAS TÉCNICAS Y MSDS PRODUCTO DESARROLLADO

En la Figura 14 , Figura 15 se muestran las fichas técnicas y en la Figura 16 se muestra la MSDS del protector hidrofugo

Figura 14. Ficha técnica piedras areniscas.

 <b>FICHA TECNICA DEL PRODUCTO</b> <b>HIDROREPELENTE</b> <b>CÓDIGO HPMS</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	Producto base agua formulado con Fluorocarbonos que permiten proteger las piedras areniscas. Actúa por impregnación sin formar película y manteniendo la veta de la piedra a la vista.. Producto dotado de un marcado efecto hidrorrepelente que le confiere gran resistente a la humedad climática.
<b>APLICACIONES</b>	<p><i>El hidrorrepelente tiene usos en las piedras areniscas, entre los que se incluyen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Piedra Muñeca</li> <li>• Piedra Blanca</li> </ul>
<b>PRESENTACIÓN</b>	Frasco por 1 L
<b>ALMACENAMIENTO</b>	El material debe ser almacenado bajo techo, en lugar seco.
<b>1. INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN</b>	
<b>Preparación de superficie</b>	Limpiar en el sentido de la veta, Eliminar impurezas y partículas sueltas con escobilla y lavar agua y dejando secar antes de aplicar. Si la Piedra ha sido previamente Sellada se debe eliminar la película mediante cepillado u otros medios mecánicos hasta que la superficie quede completamente limpia y lisa con su veta natural a la vista.
<b>Condiciones de aplicación</b>	Agitar bien el contenido del envase antes de su aplicación. Aplicar el producto con trapo en la dirección de la veta de la madera dejando que el producto penetre. Aplicar la segunda mano después de 24 horas. Se recomienda aplicar cuando la temperatura ambiente sea mayor o igual a 5°C y la humedad relativa del aire sea inferior a 80%. No aplicar en días con lluvia, niebla o llovizna.
<b>Dilución</b>	No Diluir
<b>2. COMPOSICION QUIMICA DEL PRODUCTO</b>	
<i>Hidroconalmin</i>	5%
<i>Agua Desmineralizada</i>	90%
<b>3. PROPIEDADES FISICO QUIMICAS</b>	
<i>Acabado</i>	Mate
<i>Densidad</i>	1,016 g/cm <sup>3</sup>
<i>Rendimiento teórico</i>	12 m <sup>2</sup> /l
<i>Tiempo de secado</i>	5 Horas
<i>Numero de manos Recomendadas</i>	2
<b>4. ASISTENCIA TECNICA</b>	
Cualquier inquietud por favor comuníquese con el departamento técnico. PBX 7198954 e-mail: <a href="mailto:atencionalcliente@conalmin.com.co">atencionalcliente@conalmin.com.co</a>	

Figura 15. Ficha técnica Mármol.

		<b>FICHA TÉCNICA DEL PRODUCTO</b> <b>HIDROREPELENTE</b> <b>CÓDIGO HM25</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	Producto base agua formulado con Fluorocarbonos que permiten proteger el mármol. Actúa por impregnación sin formar película y manteniendo la veta de la piedra a la vista. Producto dotado de un marcado efecto hidrorrepelente que le confiere gran resistente a la humedad climática.		
<b>APLICACIONES</b>	<p><i>El hidrorrepelente tiene usos en diferentes tipos de mármol, entre los que se incluyen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Mármol negro san gil</i></li> <li>• <i>Mármol Café pinto</i></li> </ul>		
<b>PRESENTACIÓN</b>	Frasco por 1 L		
<b>ALMACENAMIENTO</b>	El material debe ser almacenado bajo techo, en lugar seco.		
<b>5. INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN</b>			
<b>Preparación de superficie</b>	Limpiar en el sentido de la veta, Eliminar impurezas y partículas sueltas con escobilla y lavar agua y dejando secar antes de aplicar. Si la Piedra ha sido previamente Sellada se debe eliminar la película mediante cepillado u otros medios mecánicos hasta que la superficie quede completamente limpia y lisa con su veta natural a la vista.		
<b>Condiciones de aplicación</b>	Agitar bien el contenido del envase antes de su aplicación. Aplicar el producto con trapo en la dirección de la veta de la madera dejando que el producto penetre. Aplicar la segunda mano después de 24 horas. Se recomienda aplicar cuando la temperatura ambiente sea mayor o igual a 5°C y la humedad relativa del aire sea inferior a 80%. No aplicar en días con lluvia, niebla o llovizna.		
<b>Dilución</b>	No Diluir		
<b>6. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL PRODUCTO</b>			
	<i>Hidroconalmin</i>	5%	
	<i>Agua Desmineralizada</i>	90%	
<b>7. PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS</b>			
	<i>Acabado</i>	<i>Mate</i>	
	<i>Densidad</i>	<i>1,016 g/cm<sup>3</sup></i>	
	<i>Rendimiento teórico</i>	<i>12 m<sup>2</sup>/l</i>	
	<i>Tiempo de secado</i>	<i>5 Horas</i>	
	<i>Numero de manos Recomendadas</i>	<i>2</i>	
<b>8. ASISTENCIA TÉCNICA</b>			
Cualquier inquietud por favor comuníquese con el departamento técnico. PBX 7198954 e-mail: <a href="mailto:atencionalcliente@conalmin.com.co">atencionalcliente@conalmin.com.co</a>			

Figura 16. MSDS producto hidrorrepelente

 <b>HOJA DE SEGURIDAD DEL PRODUCTO</b>	
<b>PROTECTOR HIDROREPELENTE PIEDRAS ARENISCAS</b>	
<b>1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA Y DE LA EMPRESA</b>	
<p><b>NOMBRE DEL PRODUCTO:</b> Protector hidrorrepelente HPM5 <b>USO DEL PRODUCTO:</b> Repelente de manchas y de suciedad, apto para impregnaciones, producto especializado para la protección de piedra muñeca y piedra blanca. <b>REFERENCIA:</b> HPM5 <b>EMPRESA:</b> Compañía Nacional de Minerales-CONALMIN S.A.S. <b>UBICACIÓN:</b> Carrera 20 no. 45-01 Zona Industrial del Muña Vía INDUMIL costado occidental de la represa del muña Sibaté – Cundinamarca Colombia TEL: (+571) 7198963 - 7198954 e-mail: <a href="mailto:atencionalcliente@conalmin.com.co">atencionalcliente@conalmin.com.co</a></p>	
<b>2. COMPOSICIÓN/ INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>TIPO DE PRODUCTO:</b> Fluorocarbonado</li></ul>	
<b>3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS.</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>GENERALES:</b> no es considerada como un material peligroso, es necesario el uso de elementos de protección (EPP), el no uso de estos puede presentar efectos perjudiciales para la salud a largo plazo, especialmente en las vías respiratorias.  La inhalación de los productos de descomposición en concentración elevada puede producir falta de aliento (edema pulmonar).  La inhalación de aerosol puede causar serios problemas respiratorios.</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>POSIBLES EFECTOS EN LA SALUD:</b>  <b>CONTACTO OCULAR:</b> Puede provocar una irritación en los ojos. Puede causar., Lagrimeo, Rojez, Molestia.</li></ul>	

**CONTACTO DÉRMICO:** puede causar piel seca, abrasiones, molestias e irritación.

**INHALACIÓN:** La inhalación de los productos de descomposición en concentración elevada puede producir falta de aliento (edema pulmonar).

La inhalación de aerosol puede causar serios problemas respiratorios.

Provoca una irritación del tracto respiratorio. Puede causar irritación a la nariz, garganta, laringe y pulmones, y los efectos pueden ser irreversibles., Puede causar., Tos, estornudos, secreción nasal, dolor de garganta o dificultad para respirar.

**INGESTIÓN:** Riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada., Los efectos adversos de la ingestión repetida pueden incluir: Efectos al hígado, efectos a la tiroides, Efectos al riñón, La información dada esta basada sobre los datos obtenidos con sustancias similares. Los efectos adversos de la inhalación repetida pueden incluir: Irritación del tracto respiratorio, efectos a los pulmones, La información dada esta basada sobre los datos obtenidos con sustancias similares. Los efectos adversos de la exposición cutánea repetida pueden incluir., Efectos al hígado, química de la sangre alterada, La información dada esta basada sobre los datos obtenidos con sustancias similares.

#### 4. PRIMEROS AUXILIOS

**Contacto con la piel:** Lávese inmediatamente con jabón y agua abundante. Lave la ropa contaminada antes de volver a usarla.

**Contacto con los ojos:** Enjuagar inmediatamente con abundancia de agua por lo menos durante 15 minutos. Pedir consejo médico.

**Inhalación:** Sacar al aire libre. Oxígeno o respiración artificial si es preciso. Los síntomas pueden retrasarse. Llame inmediatamente al médico.

**Ingestión:** Llamar inmediatamente a un médico o a un centro de información toxicológica. Si se ha tragado, NO provocar el vómito al menos de hacerlo bajo el control del personal médico. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente.

**Recomendaciones generales:** Cuando los síntomas persistan o en caso de duda, pedir el consejo de un médico.

**Notas para el médico :** Tratar sintomáticamente.

### 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Riesgos generales de incendio	Ninguno
Medios de extinción de incendios	No se requiere ninguno. Usar medios de extinción apropiados para el fuego circundante.
Procedimientos especiales para la extinción de incendios	Ninguno
Peligros inusuales de incendio y explosión	Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Monóxido de carbono Ácido fluorhídrico
Productos de combustión peligrosos	Ninguno
Descomposición térmica	> 200 °C (> 392 °F) Para evitar descomposición térmica, no recalentar. La descomposición térmica puede llegar a desprender gases y vapores irritativos.

### 6. MEDIDAS EN CASO DE DERRAME ACCIDENTAL

Contención	No Aplica
Limpieza	Contener el derrame. Recojer con un producto absorbente inerte (por ejemplo, arena, diatomita, fijador de ácidos, fijador universal, serrín). Recorger y traspasar correctamente en contenedores etiquetados..
Medidas en caso de derrame accidental.	No verter descargue a los ríos, estanques, lagos o a las alcantarillas. Evitar la penetración en el subsuelo. Para su eliminación, tenga en cuenta la sección 13.
Eliminación	Este material no demuestra ningún efecto de bioacumulación ni toxicidad por concentración en la cadena alimentaria.

## 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación	Guardar en recipientes herméticamente cerrados. Proteger a los recipientes del daño físico. Evitar el contacto directo entre la piel y el material. No debe usarse este material nunca sin un respirador aprobado por el gobierno. El área de trabajo también debe estar bien ventilada por ventilación de aire forzada durante y después del uso de este material. Lávense las manos antes de los descansos e inmediatamente después de manipular la sustancia. Lave la ropa contaminada antes de volver a usarla.
Almacenamiento	Almacenar en un lugar seco y bien ventilado. No almacenar cerca de materiales incompatibles. (Consúltese la sección 10 para ver una lista de materiales incompatibles). Cerrar los recipientes herméticamente y mantenerlos en lugar seco, fresco y bien ventilado. Almacenar de acuerdo con las reglamentaciones nacionales particulares. Perecedero si se congela. Proteja contra el congelamiento.
Temperatura de almacenamiento	4 - 50 °C

## 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

### EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL.

**PROTECCIÓN RESPIRATORIA:** En caso de exposición a neblina, proyección o aerosol llevar una protección respiratoria personal apropiada y un traje protector.

**OJOS:** Utilice gafas de seguridad o gafas de protección contra salpicaduras químicas.

**PIEL:** Usar guantes apropiados para evitar que la piel entre en contacto con el producto. Ropa protectora ligera

### 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

Estado Físico	liquido	pH	7-9
color	Incoloro	Punto de Fusión	100 °C
olor	Inoloro	Densidad	1,016

### 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD QUÍMICA

**ESTABILIDAD:** Químicamente estable

**CONDICIONES QUE SE DEBEN EVITAR:** Para evitar descomposición térmica, no recalentar

**INCOMPATIBILIDAD:** productos de carbono quemados incompletamente , fluoruro de hidrógeno (ácido fluorhídrico) , Dióxido de carbono, Monóxido de carbono Se pueden formar otros productos peligrosos de la descomposición.

### 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Inhalación 4 h ALC - Concentración letal aproximada: 0.047 mg/l , Rata

Inhalación 4 h Estimación de la toxicidad aguda: 0.005 mg/l , Rata

Inhalación 4 h Concentración Sin Efecto Adverso Observado: 0.001 mg/l , Rata

La información proporcionada se basa en datos obtenidos de un producto similar.

Cutáneo DL50 : > 5,000 mg/kg , Rata

Oral DL50 : > 5,000 mg/kg , Rata

Iritación de la piel : No irrita la piel, Conejo

Iritación ocular : No irrita los ojos, Conejo

Se ha observado una ligera irritación, pero insuficiente para garantizar la clasificación

**Sensibilización:** No produce sensibilización en animales de laboratorio., Ratón

**Toxicidad por dosis repetidas:** Oral – gástrica Rata

No se encontraron efectos toxicológicamente significativos.

**Mutagenicidad :** Ensayos sobre cultivos en células bacterianas o en mamíferos no demostraron efectos mutagénicos.

**Toxicidad para la reproducción:** Ninguna toxicidad para la reproducción

Pruebas en animales demostraron efectos sobre la reproducción, a niveles iguales a o superiores a los que causan toxicidad parental.

La información proporcionada se basa en datos obtenidos de un producto similar.

**Teratogenicidad :** Ninguna toxicidad para la reproducción

Pruebas con animales demostraron efectos sobre el desarrollo embrión-fetal, a niveles iguales a o superiores de los que causan toxicidad materna.

## 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

**Toxicidad Acuática:**

96 h CL50: Pimephales promelas (Piscardo de cabeza gorda) > 120 mg/l

96 h CL50: Gobio Raro (Gobiocypris Rarus) > 150 mg/l

72 h CE50r : Pseudokirchneriella subcapitata (alga verde) > 120 mg/l

48 h CE50: Daphnia magna (Pulga de mar grande) 16.2 mg/l

21 d Ciclo de Vida Semi Estática: NOEC Daphnia magna (Pulga de mar grande)  
0.409 mg/l OECD TG 211

**Biodegradabilidad:** Este producto fue probado siguiendo las directrices de prueba de la OCDE 302C (Biodegradabilidad Inherente). El producto no fue inherentemente biodegradable de acuerdo con los criterios de punto final de las directrices de prueba.

**Bioacumulacion:** La bioacumulación es improbable.

**13. CONSIDERACIONES PARA LA ELIMINACIÓN**

Eliminación de desechos: De conformidad con las regulaciones locales y nacionales.

**14. INFORMACIÓN PARA EL TRANSPORTE**

Nombre de Embarque No Aplica

Clase de Peligro No Aplica

UN/NA # No Aplica

Grupo de Embalaje No Aplica

Etiquetas Necesarias No Aplica

**15. INFORMACIÓN NORMATIVA**

Clasificación según la norma NFPA

SALUD	1
INFLAMABILIDAD	0
REACTIVIDAD	0



0= Mínimo/1= Leve/ 2= Moderado/ 3= Serio/4= Riesgo Severo



#### 16. OTRA INFORMACIÓN

Los datos técnicos pueden cambiar sin previo aviso, por favor consulte con su asesor sobre la última información disponible. Esta hoja de seguridad se ha elaborado de acuerdo con la experiencia de CONALMIN en el manejo de éste material. Se presentan conceptos generales entorno al material y la seguridad requerida en su manejo y esta hoja de seguridad no consiste en una garantía de las propiedades descritas.

## ANEXO K COTIZACIÓN EQUIPOS

se necesitan 3 válvulas de mariposa (Figura 17); 9 metros de tubería aproximadamente (Figura 18); un tanque de almacenamiento plástico para el agua desionizada (Figura 19); un tanque de almacenamiento para la MP E y un tanque agitado (Figura 20).

Figura 17. Precio de las válvulas y sus especificaciones.



### Válvula Mariposa 1/2" TB-0160-06 Gas

Este producto no ha sido calificado | [Calificar este producto](#)

---

Precio: **\$21,990**

**Disponible** (Solo disponible para entrega en Bogotá)

Agregar al Carro

Me gusta Sé el primero de tus amigos en indicar que te gusta esto.

Twitter

---

[Ver Disponibilidad en Tiendas](#) ▼

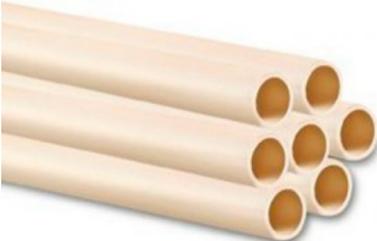
---

**Compra online, recibe en tu casa.**

**Compra online recoge en tienda.**

Especificaciones	
Marca	Gricol
Garantía	Total
Origen	Colombia
Nombre funcional	Válvula mariposa
Nombre del fabricante	Gricol S.A
Peso Bruto	0.212 Kilogramos
Ean producto	7703231024007
Alto producto	56,42 Milímetros
Ancho producto	61,64 Milímetros
Profundo producto	30,15 Milímetros
Cantidad contenida	1
Calificador de cantidad	Números de artículos

Figura 18. Precio de tubería por 3 metros.



**Tubo Cpvc 1/2" X 3 Metros Gerfor**

Este producto no ha sido calificado | [Calificar este producto](#)

---

Precio: **\$11,990**

**Disponible** (Solo disponible para entrega en Bogotá)

[Agregar al Carro](#)

[Me gusta](#) Sé el primero de tus amigos en indicar que te gusta esto.

[Twitter](#)

---

[Ver Disponibilidad en Tiendas](#) ▼ 

---

 **Compra online, recibe en tu casa.**

Figura 19. Precio tanque almacenamiento agua desionizada.



**Tanque Acuaplast Negro 150 Lt Rotoplast**

Este producto no ha sido calificado | [Calificar este producto](#)

---

Precio: **\$79,990**

**Disponible**

[Agregar al Carro](#)

[Me gusta](#) Sé el primero de tus amigos en indicar que te gusta esto.

[Twitter](#)

---

[Ver Disponibilidad en Tiendas](#) ▼ 

---

 **Compra online, recibe en tu casa.**

Figura 20. Cotización tanque almacenamiento MP E y tanque de mezclado.

Bogotá, Enero 11 del 2.018

Señores  
CONALMIN SAS

REF. COTIZACIÓN TANQUES

1. Tanque mezclador acero inoxidable 304 capacidad 107 litros, cuerpo cilíndrico 50 cm Diámetro y 75 cm alto. Tapa plana seccionada, niple descarga 1/2" soporte, 4 patas corte en s.s. 304 con platina de asiento, agitador 4 aspas, motoreductor marca OEM/dongzhan relación 1:3 1 HP a 1800 rpm, 110/220 v

Valor puesto en Conalmin \$ 1.000.000

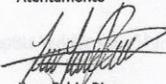
2. Tanque almacenamiento acero inoxidable 304 capacidad 6 litros, cuerpo cilíndrico 18 cm Diámetro y 26 cm alto. Tapa plana seccionada, niple descarga 1/2" soporte, 4 patas corte en s.s. 304 con platina de asiento

Valor puesto en Conalmin \$ 250.000

Forma de pago: 50% anticipo-50% contraentrega

Plazo de entrega : 30 Días después del anticipo

Atentamente

  
Jhon Fabio Rico  
Tel. 3162083631

ANEXO L  
AMORTIZACIÓN PRÉSTAMO

<b>CONDICIONES FINANCIERAS</b>				
<b>MONTO: 1.409.940</b>				
<b>PLAZO: 12</b>		<b>MESES</b>		
<b>INTERÉS</b>		<b>Efectiva</b>		
<b>: 31%</b>		<b>Anual</b>		
<b>AMORTIZACIÓN:</b>		<b>MENSUAL</b>		
<b>CUOTAS</b>	<b>CUOTA</b>	<b>INTERESES</b>	<b>ABONO A CAPITAL</b>	<b>SALDO</b>
0				1.409.940,00
1	135.612,81	32.123,18	103.489,63	1.306.450,37
2	135.612,81	29.765,34	105.847,47	1.200.602,89
3	135.612,81	27.353,78	108.259,04	1.092.343,86
4	135.612,81	24.887,27	110.725,54	981.618,32
5	135.612,81	22.364,57	113.248,24	868.370,08
6	135.612,81	19.784,39	115.828,42	752.541,66
7	135.612,81	17.145,43	118.467,38	634.074,28
8	135.612,81	14.446,35	121.166,47	512.907,81
9	135.612,81	11.685,77	123.927,05	388.980,77
10	135.612,81	8.862,29	126.750,52	262.230,25
11	135.612,81	5.974,49	129.638,32	132.591,92
12	135.612,81	3.020,89	132.591,92	-0,00
<b>TOTAL</b>	<b>1.627.353,75</b>	<b>217.413,75</b>	<b>1.409.940,00</b>	

ANEXO M  
PRECIO DEL KW/H SECTOR NO RESIDENCIAL

Figura 21. Pliego tarifario Luz sector no residencial

SECTOR NO RESIDENCIAL								
			NIVEL 1 PROPIEDAD DE CODENSA (\$/kWh)	NIVEL 1 PROPIEDAD DEL CLIENTE (*) (\$/kWh)	NIVEL 1 PROPIEDAD COMPARTIDA (*) (\$/kWh)	NIVEL 2 (11,4 y 13,2 kV) (\$/kWh)	NIVEL 3 (34,5 kV) (\$/kWh)	NIVEL 4 (115 kV) (\$/kWh)
<b>OFICIAL E INDUSTRIAL SIN CONTRIBUCIÓN</b>	<b>SENCILLA</b>	<b>Monomia</b>	447,2392	411,4535	429,3464	357,8150	328,4504	280,5858
	<b>OPCIONES HORARIAS (**)</b>	<b>Punta</b>	451,1672	415,3815	433,2744	361,1040	328,5724	280,0692
		<b>Fuera de Punta</b>	446,2709	410,4852	428,3781	357,0575	329,5514	286,6469
<b>INDUSTRIAL Y COMERCIAL CON CONTRIBUCIÓN</b>	<b>SENCILLA</b>	<b>Monomia</b>	536,6870	493,7442	515,2157	429,3780	394,1405	336,7030
	<b>OPCIONES HORARIAS (**)</b>	<b>Punta</b>	541,4006	498,4578	519,9293	433,3248	394,2869	336,0830
		<b>Fuera de Punta</b>	535,5251	492,5822	514,0537	428,4690	395,4617	343,9763
<b>INDUSTRIAL SIN CONTRIBUCIÓN</b>	<b>DOBLE HORARIA</b>	<b>Nocturna</b>	451,1766	415,3909	433,2838	361,2481	331,9957	
		<b>Diurna</b>	446,2974	410,5117	428,4046	357,0237	327,5095	
<b>INDUSTRIAL CON CONTRIBUCIÓN</b>	<b>DOBLE HORARIA</b>	<b>Nocturna</b>	541,4119	498,4691	519,9406	433,4977	398,3948	
		<b>Diurna</b>	535,5569	492,6140	514,0855	428,4284	393,0114	

ANEXO N  
GASTOS DE NOMINA

En la Tabla 32 se puede observar los gastos de nómina para la producción del hidropelente.

Tabla 32. Gastos nomina ventas

	Coordinador de ventas
Salario	\$ 1.000.000
Sub Transporte	\$ 88.211
Pensión	\$ 120.000
Salud	\$ 85.000
Caja Compensación	\$ 40.000
Arl	\$ 43.500
Prima	\$ 83.333
Cesantías	\$ 83.333
Int Cesantías	\$ 10.000
Vacaciones	\$ 41.667
Dotaciones	\$ 27.500
Total Por Empleado/Mes	\$ 1.622.544
Total Por Empleado/Año	\$ 19.470.532

ANEXO O  
FLUJO DE CAJA

DESCRIPCIÓN	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
= MONTAJE	\$ 1.409.940,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
VENTAS		\$ 55.320.000,00	\$ 59.886.666,00	\$ 64.830.310,28	\$ 70.182.052,39	\$ 75.975.580,82
- COSTO DE VENTAS		\$ 46.865.976,10	\$ 47.619.132,09	\$ 48.611.496,75	\$ 49.626.232,81	\$ 50.663.936,56
= UTILIDAD BRUTA EN VENTAS		\$ 8.454.023,90	\$ 12.267.533,91	\$ 16.218.813,52	\$ 20.555.819,58	\$ 25.311.644,25
- GASTOS DE ADMINISTRACIÓN		\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
- GASTOS DE VENTAS		\$ 9.735.266,00	\$ 10.309.646,69	\$ 10.917.915,85	\$ 11.562.072,88	\$ 12.244.235,18
= UTILIDAD O PERDIDA OPERACIONAL		-\$ 1.281.242,10	\$ 1.957.887,22	\$ 5.300.897,67	\$ 8.993.746,69	\$ 13.067.409,07
- IMPUESTO DE RENTA (33%)		\$ 0,00	\$ 646.102,78	\$ 1.749.296,23	\$ 2.967.936,41	\$ 4.312.244,99
= UTILIDAD O PERDIDA DEL PERIODO	-\$ 1.409.940,00	-\$ 1.281.242,10	\$ 1.311.784,44	\$ 3.551.601,44	\$ 6.025.810,28	\$ 8.755.164,08