



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE MÁRMOL,
EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE SUPERFICIES Y ACABADOS EN LA EMPRESA
FORMAS GEOMÉTRICAS, S.A.**

Javier Eduardo Campos Sánchez

Asesorado por el Ing. Edgar Antonio Búrbano López

Guatemala, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE MÁRMOL,
EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE SUPERFICIES Y ACABADOS EN LA EMPRESA,
FORMAS GEOMÉTRICAS, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JAVIER EDUARDO CAMPOS SÁNCHEZ

ASESORADO POR EL ING. EDGAR ANTONIO BÚRBANO LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Erwin Danilo González Trejo
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADOR	Ing. Alex Suntencún Castellanos
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE MÁRMOL,
EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE SUPERFICIES Y ACABADOS EN LA EMPRESA
FORMAS GEOMÉTRICAS, S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 11 de febrero de 2015.



Javier Eduardo Campos Sánchez

Guatemala, junio 2016.

Ing. Juan José Peralta Dardón
Director de la Escuela de Mecánica Industrial,
Facultad de Ingeniería,
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Estimado Ingeniero:

Por este medio, hago constar que el estudiante: Javier Eduardo Campos Sánchez, quien se identifica con el DPI 1798 68438 0101 y número de carné 200819156, realizo su trabajo de graduación con el cual conto con mi asesoría.

Al mismo tiempo autorizo el contenido del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE MÁRMOL, EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE SUPERFICIES Y ACABADOS EN LA EMPRESA FORMAS GEOMÉTRICAS, S.A.**, manifiesto la conformidad de las prácticas y los métodos de investigación.

Agradeciendo su fina y amable atención.

Atentamente:

Vo. Bo. _____

Ing. Edgar Antonio Búrbano López

Colegio 5609

Asesor de Tesis

ING. EDGAR BÚRBANO
Colegiado No. 5609



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE MÁRMOL, EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE SUPERFICIES Y ACABADOS EN LA EMPRESA FORMAS GEOMÉTRICAS, S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Javier Eduardo Campos Sánchez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Mayra Saadeth Arreaza Martínez', enclosed within a large, loopy scribble.

Ing. Mayra Saadeth Arreaza Martínez
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Saadeth Arreaza M.
INGENIERA INDUSTRIAL
Col. 4662

Guatemala, marzo de 2017.

/mgp



REF.DIR.EMI.138.017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE MÁRMOL, EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE SUPERFICIES Y ACABADOS EN LA EMPRESA FORMAS GEOMÉTRICAS, S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Javier Eduardo Campos Sánchez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. José Francisco Gómez Rivera
DIRECTOR a.i.

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, septiembre de 2017.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala

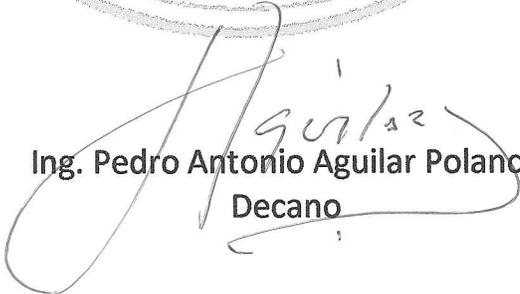


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 429.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE MÁRMOL, EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE SUPERFICIES Y ACABADOS EN LA EMPRESA FORMAS GEOMÉTRICAS, S. A.,** presentado por el estudiante universitario: **Javier Eduardo Campos Sánchez,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el Ingeniero de mi vida, por guiarme, cuidarme y darme la oportunidad de lograr todas mis metas y objetivos junto a mis seres queridos.
- Mis padres** Gustavo Campos y Silvia Sánchez, por su esfuerzo, amor y dedicación, por todos sus consejos y enseñanzas que a lo largo de la vida me han servido para lograr todos mis sueños.
- Mis hermanos** Gustavo Campos y Alejandro Campos, por ser mis mayores ejemplos de trabajo y estudio, por compartir tantos hermosos momentos juntos y por cuidar siempre de mí.
- Mi novia** Mishell Rivera, por ser la compañera de mi vida, por su apoyo y amor constante en la etapa más importante de mi vida.
- Mi familia** Por su apoyo y cariño en cada etapa de mi vida.
- Mis amigos y compañeros de trabajo y estudio** Por compartir muchas experiencias y por brindarme siempre su cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios, por todos los conocimientos y experiencias que he adquirido para lograr mis metas y objetivos.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme todos los conocimientos y herramientas que me servirán en mi vida profesional.
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial	Por ser la base de mi carrera universitaria y por el apoyo y enseñanza de cada Ingeniero catedrático en especial.
Ing. José Francisco Gómez	Por brindarme su apoyo y conocimiento en la dirección de mi trabajo de graduación.
Ing. Danilo González	Por ser mi revisor de protocolo y por brindarme muchos conocimientos en diversos cursos a lo largo de mi carrera universitaria.
Ing. Edgar Búrbano	Por ser mi asesor de trabajo de graduación y por su colaboración en la realización de este trabajo.
Ing. Mayra Arreaza	Por ser mi revisor de trabajo de graduación y por su colaboración.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XI
LISTA DE SÍMBOLOS	XVII
GLOSARIO	XIX
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. La empresa.....	1
1.1.1.1. Ubicación	4
1.1.2. Historia	5
1.1.3. Misión	6
1.1.4. Visión.....	6
1.1.5. Valores	6
1.1.6. Organización.....	7
1.1.7. Puestos y funciones.....	7
1.2. La investigación.....	10
1.2.1. Definición	10
1.2.2. Características.....	11
1.2.3. Tipos de investigación	12
1.2.4. Importancia.....	13
1.2.5. Residuos.....	13
1.2.5.1. Definición.....	13
1.2.5.2. Gestión	14
1.2.5.3. Clasificación.....	14

1.2.6.	Mármol	16
1.2.6.1.	Definición.....	16
1.2.6.2.	Características	18
1.2.6.3.	Clasificación	19
1.2.6.4.	Composición y propiedades físicas	19
1.2.6.5.	Tipos de residuos de mármol	20
1.2.6.5.1.	Polvo de mármol	21
1.2.6.5.2.	Lodo de mármol	21
1.2.6.5.3.	Retal o desperdicio de mármol	22
1.2.6.6.	Usos del mármol	23
1.2.6.7.	Mármol en Guatemala.....	24
1.2.7.	Aportes del residuo de mármol a la industria	25
1.2.8.	Mármol artificial	26
1.2.9.	Proceso de fabricación.....	26
1.2.9.1.	Definición.....	26
1.2.9.2.	Características	26
1.2.9.3.	Tipos	27
1.2.9.4.	Importancia.....	29
1.2.10.	Superficies y acabados	29
1.2.10.1.	Definición.....	29
1.2.10.2.	Tipos	29
1.2.10.3.	Importancia.....	31
1.2.11.	Eficiencia.....	32
1.2.11.1.	Definición.....	32
1.2.11.2.	Importancia.....	32
1.2.11.3.	Beneficios.....	32
1.2.12.	Producción más limpia	33
1.2.12.1.	Definición.....	33

	1.2.12.2.	Importancia	33
	1.2.12.3.	Beneficios	34
2.	DIAGNÓSTICO SITUACIONAL		35
2.1.	Situación actual de la empresa.....		35
	2.1.1.	Diagrama de causa-efecto.....	37
	2.1.2.	Área estimada de la empresa	39
	2.1.3.	Infraestructura y servicios básicos.....	40
2.2.	Áreas de trabajo de fabricación		42
	2.2.1.	Área de almacenamiento de materia prima	42
	2.2.2.	Área de cuadré y corte	44
	2.2.3.	Área de diseño y tallado	47
	2.2.4.	Área de armado de las superficies	48
	2.2.5.	Área de pulido y brillado	49
	2.2.6.	Área de almacenamiento de producto terminado ...	50
2.3.	Condiciones de trabajo		51
	2.3.1.	Ventilación	52
	2.3.2.	Iluminación.....	52
	2.3.3.	Ruido	55
2.4.	Proceso de fabricación de superficies y acabados.....		56
	2.4.1.	Diagrama de operaciones.....	56
	2.4.2.	Diagrama de recorrido	61
	2.4.3.	Residuos de mármol.....	63
	2.4.3.1.	Generación de residuos.....	63
	2.4.3.2.	Recolección de los residuos	67
	2.4.3.3.	Cuantificación de residuos.....	69
	2.4.3.3.1.	Cuantificación de retal de mármol.....	69

	2.4.3.3.2.	Cuantificación polvo de mármol	74
	2.4.3.3.3.	Cuantificación lodo de mármol	75
	2.4.3.4.	Destino final.....	77
2.5.		Medición del trabajo	78
	2.5.1.	Calificación y desempeño de los operarios	78
	2.5.2.	Duración del ciclo de fabricación.....	83
3.		PROPUESTA PARA DISEÑAR EL PLAN DE INVESTIGACIÓN.....	87
3.1.		Gestión de los residuos de mármol	87
	3.1.1.	Encuestas al personal involucrado.....	87
	3.1.2.	Análisis de los datos.....	91
	3.1.3.	Área de estudio	100
	3.1.4.	Importancia del retal de mármol	101
	3.1.5.	Diagrama de retal de mármol	101
3.2.		Análisis del retal de mármol	103
	3.2.1.	Almacenamiento del material	103
	3.2.2.	Características del material	104
	3.2.3.	Recolección de datos	104
	3.2.4.	Método de muestreo	106
	3.2.5.	Diagrama de resultados	107
3.3.		Trituración del retal de mármol.....	108
	3.3.1.	Diagrama de operaciones	108
	3.3.2.	Maquinaria a utilizar	112
	3.3.3.	Selección de la muestra	117
	3.3.4.	Características de la muestra.....	118
3.4.		Fabricación de pisos de mármol artificial	118
	3.4.1.	Diagrama de operaciones	118

3.4.2.	Dimensiones del piso de mármol.....	122
3.4.3.	Insumos para la fabricación	123
3.4.4.	Composición del mármol artificial	124
3.4.5.	Calidad del material	126
3.5.	Aplicaciones del mármol artificial.....	128
3.5.1.	Utilidades del mármol artificial	128
3.5.2.	Ventajas del mármol artificial	129
3.5.3.	Áreas para la aplicación del material	130
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	131
4.1.	Recolección del material a reciclar	131
4.1.1.	Retal de mármol Travertino Beige	131
4.1.2.	Áreas de recolección de material.....	132
4.1.3.	Recolección de datos	133
4.1.4.	Análisis de los datos	134
4.2.	Gestión de retal de mármol	136
4.2.1.	Planta trituradora	136
4.2.2.	Trituración de retal.....	138
4.2.3.	Selección de la muestra de polvo	146
4.2.4.	Polvo y retal de mármol a utilizar	147
4.3.	Mármol artificial	148
4.3.1.	Fabricación del mármol artificial	148
4.3.2.	Características del material	154
4.3.3.	Calidad del material	155
4.3.4.	Control de calidad del subproducto	158
4.3.5.	Interpretación de los resultados.....	161
4.4.	Costos de fabricación	162
4.4.1.	Costo de fabricación piso mármol artificial	162
4.4.1.1.	Costo de mano de obra directa.....	162

4.4.1.2.	Costo de mano de obra indirecta	164
4.4.1.3.	Costo de materia prima	165
4.4.1.4.	Gastos indirectos de fabricación	165
4.4.1.5.	Costo total de fabricación	167
5.	ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL	169
5.1.	Producción más limpia	169
5.1.1.	Antecedentes	169
5.1.2.	Definición.....	170
5.1.3.	Avances de la producción más limpia	171
5.2.	Producción más limpia en Guatemala.....	172
5.2.1.	Antecedentes	172
5.2.2.	Avances.....	173
5.2.3.	Actores involucrados	174
5.2.3.1.	Centro Guatemalteco de Producción más Limpia	174
5.2.3.1.1.	Historia y objetivos	174
5.2.3.1.2.	Guía práctica para el manejo de residuos en el sector público guatemalteco.....	176
5.2.3.1.3.	Norma técnica de producción más limpia	177
5.2.3.1.4.	Reporte nacional de residuos.....	178
5.2.3.2.	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales	178
5.2.3.2.1.	Definición y objetivos ..	178

	5.2.3.2.2.	Política nacional de producción más limpia	180
	5.2.3.2.3.	Política marco de gestión ambiental	181
	5.2.3.2.4.	Política de conservación, protección y mejoramiento del ambiente y los recursos naturales	181
	5.2.3.2.5.	Política nacional para el desarrollo de las micro, pequeñas y medianas empresas ...	182
5.3.		Plan de gestión ambiental	182
	5.3.1.	Efectos producidos por los residuos de mármol ...	182
		5.3.1.1. Efectos producidos por el polvo de mármol.....	183
		5.3.1.2. Efectos producidos por el lodo de mármol.....	185
		5.3.1.3. Efectos producidos por el retal de mármol.....	187
	5.3.2.	Identificación de los impactos generados por los residuos de mármol	189
	5.3.3.	Prevención y medidas de mitigación	192
	5.3.4.	Seguimiento y control	197
	5.3.5.	Legislación ambiental sobre los residuos	199

	5.3.5.1.	Reglamentos, normativos y políticas de estudios de gestión ambiental	199
	5.3.5.2.	Evaluación, control y financiamiento de estudios de gestión ambiental	203
6.	MEJORA CONTINUA Y RESULTADOS		205
6.1.	Mejora continua		205
	6.1.1.	Estrategia de mejora continua	205
	6.1.2.	Estrategia de mejora continua en el proceso de fabricación de pisos de mármol artificial	207
	6.1.2.1.	Desplazamientos o cambios en el nivel del proceso de fabricación	208
	6.1.2.2.	Tendencias en el nivel del proceso de fabricación	209
	6.1.2.3.	Ciclos recurrentes en el proceso de fabricación	210
	6.1.2.4.	Mucha variabilidad en el proceso de fabricación	211
	6.1.2.5.	Falta de variabilidad en el proceso de fabricación	212
	6.1.3.	Análisis beneficio/costo	213
	6.1.3.1.	Análisis de la alternativa	214
	6.1.3.2.	Interpretación de resultados	215
6.2.	Auditorías		216
	6.2.1.	Internas	216
	6.2.1.1.	Análisis FODA	216
	6.2.1.2.	Hoja de verificación	218
	6.2.2.	Externas	219
6.3.	Resultados		222
	6.3.1.	Utilidad del piso de mármol artificial	222

6.3.2.	Reducción de costos de almacenamiento	224
6.3.3.	Mejora de los ambientes de trabajo.....	224
6.3.4.	Mejora del desempeño de los trabajadores.....	225
6.3.5.	Eficiencia en el proceso de fabricación de superficies y acabados en mármol	227
6.3.6.	Mejora de la competitividad de la empresa	230
6.3.7.	Conciencia de una producción más limpia en la empresa.....	231
CONCLUSIONES		233
RECOMENDACIONES.....		235
BIBLIOGRAFÍA.....		237
ANEXOS.....		239

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Piedra de cuarzo.....	2
2.	Piedra de mármol.....	2
3.	Piedra de granito.....	3
4.	Piedra caliza	4
5.	Mosaico pavé.....	4
6.	Ubicación de la empresa	5
7.	Organigrama personal administrativo	7
8.	Organigrama personal operativo.....	9
9.	Esquema de gestión de residuos.....	14
10.	Clasificación de los residuos.....	16
11.	Tipos de mármol	17
12.	Polvo de mármol	21
13.	Lodo de mármol	22
14.	Retal de mármol.....	22
15.	Canteras de Guatemarmol.....	25
16.	Fabricación de mármol tratamiento superficial.....	28
17.	Superficies, molduras y acabados de mármol	31
18.	Diagrama causa-efecto	37
19.	Formas Geométricas, S.A.....	40
20.	Techo de la empresa	41
21.	Contenedor de placas de mármol.....	43
22.	Ingreso de materia prima	43
23.	Almacenamiento materia prima	44

24.	Máquina de corte.....	45
25.	Disco de corte para mármol.....	45
26.	Sistema de reutilización de agua.....	46
27.	Diseño de las piezas de mármol.....	47
28.	Tallado de las piezas de mármol.....	48
29.	Área de diseño, tallado y armado de piezas.....	49
30.	Pulido y brillado de las piezas de mármol.....	50
31.	Lijas para pulir y brillar.....	50
32.	Almacenamiento del producto terminado.....	51
33.	Iluminación de planta de fabricación.....	55
34.	Diagrama de operaciones superficies y acabados.....	57
35.	Diagrama de recorrido.....	62
36.	Generación de retal de mármol y agua residual.....	64
37.	Generación de polvo y retal de mármol.....	65
38.	Generación de lodo de mármol.....	65
39.	Diagrama actividades generación residuos mármol.....	66
40.	Depósitos de polvo y retal de mármol.....	68
41.	Fosas de agua.....	68
42.	Área base placa aserrada de mármol.....	70
43.	Formato de encuesta gestión de residuos de mármol.....	88
44.	Gráfica conocimiento gestión de residuos de mármol.....	92
45.	Gráfica de mayor residuo generado en el proceso de fabricación.....	94
46.	Gráfica de la operación que mayor residuo genera en el proceso de fabricación.....	95
47.	Gráfica de efectos producidos por los residuos de mármol a la salud del trabajador.....	97
48.	Gráfica de estimación de residuos generados al mes en el proceso de fabricación.....	98
49.	Gráfica de residuo de mármol más fácil de reciclar.....	100

50.	Diagrama de actividades generación de retal de mármol	102
51.	Travertino Beige.....	105
52.	Formato de muestreo estratificado	106
53.	Diagrama de resultados retal de mármol	108
54.	Diagrama de operaciones trituración retal de mármol	109
55.	Esquema trituración por mandíbulas	113
56.	Esquema molino de martillo.....	114
57.	<i>Mesh</i> para cernir fragmentos de mármol	115
58.	Norma ASTM E 11-61.....	116
59.	Diagrama de operaciones pisos mármol artificial.....	119
60.	Piso de mármol artificial.....	123
61.	Diseño de molde para fabricar piso mármol artificial	124
62.	Utilidades del mármol artificial	128
63.	Depósito de retal de mármol Travertino Beige.....	133
64.	Muestras de retal de mármol	136
65.	Planta de trituración	137
66.	Alimentador de retal.....	139
67.	Trituradora de mandíbulas quebrantadoras.....	140
68.	Fragmentos de retal generados en la trituración primaria.....	141
69.	Fragmentos de retal generados en la trituración secundaria.....	142
70.	Molino de martillo.....	143
71.	Fragmentos de retal generados en la trituración terciaria.....	144
72.	Cernidor de polvo de mármol.....	144
73.	Inspección de producto terminado	145
74.	Selección muestra de polvo de mármol	146
75.	Muestra de polvo y retal de mármol.....	147
76.	Molde de madera para piso de mármol artificial	149
77.	Insumos para la fabricación de mármol artificial	151
78.	Mezcla de insumos y nivelación de mezcla	151

79.	Secado de la mezcla	152
80.	Pulido de piso de mármol artificial	153
81.	Brillado de piso de mármol artificial	154
82.	Características de piso de mármol artificial	155
83.	Esquema de un gráfico de control	157
84.	Gráfico de control pisos de mármol artificial	160
85.	Logo del Centro Guatemalteco de Producción más Limpia.....	175
86.	Logo del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales	180
87.	Fracciones de polvo, según norma UNE-EN 481-1995.....	184
88.	Capacidad de penetración pulmonar.....	185
89.	Efectos producidos por el lodo de mármol.....	186
90.	Efectos producidos por el retal de mármol	188
91.	Matriz de Leopold	191
92.	Instrumentos de política que regulan los sistemas ambientales en Guatemala.....	201
93.	Principales políticas e instrumentos ambientales en Guatemala.....	202
94.	Fondos ambientales de Guatemala.....	203
95.	Centros universitarios de investigación de Guatemala	204
96.	Cambios en el nivel del proceso.....	208
97.	Tendencias en el nivel del proceso	210
98.	Ciclos recurrentes en el proceso de fabricación	211
99.	Mucha variabilidad en el proceso de fabricación	212
100.	Falta de variabilidad en el proceso de fabricación.....	213
101.	Matriz FODA.....	217
102.	Hoja de verificación	219
103.	Piso de mármol artificial.....	223
104.	Pavé de mármol artificial	223
105.	Mejora de los ambientes de trabajo.....	225
106.	Logo de Formas Geométricas, S.A.	231

107.	Cocina de mármol de Formas Geométricas, S.A.....	232
------	--	-----

TABLAS

I.	Escala de dB, norma de la OMS	56
II.	Estimación porcentaje de retal por placa de mármol	72
III.	Promedio polvo de mármol generado al día.....	74
IV.	Factores de calificación por habilidad	79
V.	Factores de calificación por esfuerzo	79
VI.	Factores de calificación por condiciones.....	80
VII.	Factores de calificación por consistencia	80
VIII.	Tiempos medios en el proceso de fabricación.	81
IX.	Valores de suplementos.....	84
X.	Tiempos normales del proceso de fabricación	85
XI.	Análisis de datos sobre el conocimiento del tema a investigar	92
XII.	Análisis de datos sobre los residuos más conocidos y el mayor residuo generado	93
XIII.	Análisis de datos sobre la operación que genera mayor residuo	94
XIV.	Análisis de datos sobre efectos producidos a la salud del trabajador por los residuos de mármol	96
XV.	Análisis de datos estimación de residuos generados al mes	97
XVI.	Análisis de datos sobre el residuo de mármol más fácil de reciclar y reutilizar.....	99
XVII.	Composición del mármol natural.....	104
XVIII.	Diseño de recolección de retal de mármol	105
XIX.	Selección de muestra de polvo de mármol	117
XX.	Recolección de retal de mármol.....	134
XXI.	Análisis de muestreo estratificado.....	135
XXII.	Atributos de calidad piso de mármol artificial	156

XXIII.	Unidades defectuosas control de calidad	158
XXIV.	Datos M.O.D. piso de mármol artificial.....	163
XXV.	Datos M.O.I. piso de mármol artificial	164
XXVI.	Medidas de mitigación, proceso de producción	193
XXVII.	Medidas de mitigación, contaminación del aire y ruido.....	194
XXVIII.	Medidas de mitigación, filtración de aguas residuales.....	195
XXIX.	Medidas de mitigación, disposición de residuos	196
XXX.	Acciones de seguimiento y control.....	198
XXXI.	Estrategia de mejora continua	206
XXXII.	Alternativa de inversión.....	214
XXXIII.	Análisis de alternativa	215

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h	Altura
A	Área
b	Base
HP	Caballo de poder
cm	Centímetro
dB	Decibeles
ρ	Densidad
esp	Espesor
hr	Hora
kg	Kilogramo
kw	Kilowatt
L.C.C.	Límite de control central
L.C.I.	Límite de control inferior
L.C.S.	Límite de control superior
l	Litro
M	Masa
m	Metro
m²	Metro elevado al cuadrado
m³	Metro elevado al cubo
Mz	Mezcla
μm	Micromilímetros
mm	Milímetro
min	Minuto

np	Número de artículos defectuosos
oz	Onza
OMS	Organización mundial de la salud
PVC	Policloruro de vinilo
P+L	Producción más limpia
p	Proporción unidades defectuosas
rpm	Revoluciones por minuto
t	Tiempo
T.E.	Tiempo estándar
T.M.O.	Tiempo medio observado
T.N.	Tiempo normal
V	Volumen
watt	Watt

GLOSARIO

Agrietamiento	El agrietamiento es la aparición o formación de grietas en una superficie.
Aserrado	Que tiene un contorno dentado de forma semejante a una sierra.
Borriqueta	Armazón compuesta por una pieza larga colocada horizontalmente sobre dos pares de patas inclinadas hacia afuera y que, junto a otra armazón similar, sirve para mantener sobre ellas un tablero.
Carbonática	Las rocas carbonáticas o carbonatadas son un tipo de rocas sedimentarias compuestas principalmente por minerales de carbonato cálcico (CO_3Ca) o de otros carbonatos, las principales rocas son las piedras calizas.
Cilindricidad	Es la desviación de una redondez ideal que es determinada por la diferencia entre los radios mayor y menor del contorno medido de una magnitud.
Contingencia	Conjunto de medidas encaminadas a restaurar el funcionamiento normal de una actividad tras la alteración producida por un accidente.

Cuadre	Dar forma de cuadro o de cuadrado. Hacer que coincida una pieza de diferente forma a una forma cuadrada.
Densidad	Relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.
Estrato	Estrato tiene su origen en el vocablo latino stratus y permite hacer referencia al conjunto de elementos que comparten ciertos caracteres comunes y que se integra con otros conjuntos para la formación de una entidad.
Fachaleta	Es un recubrimiento de apariencia natural fabricada en cemento aligerado y que simula en textura y tamaño a la piedra. Esta se puede aplicar para decorar muros, jardines, columnas, chimeneas, etc.
Fatiga	Cansancio que se experimenta después de un intenso y continuado esfuerzo físico o mental. Molestia o dificultad al respirar.
Galvanizado	Es el proceso electroquímico por el cual se puede cubrir un metal con otro.

Jaba	Embalaje en forma de cajón de madera con rejas, usado especialmente para trasladar cosas delicadas y de gran peso.
Lumen	Es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa emitida por la fuente.
Lux	Es la unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación. Equivale a un lumen /m ² .
Mitigación	El propósito de la mitigación es la reducción de la vulnerabilidad, es decir la atenuación de los daños potenciales sobre la vida y los bienes causados por un evento.
Polipasto	Es una máquina compuesta por dos o más poleas y una cuerda, cable o cadena que alternativamente va pasando por las diversas gargantas de cada una. Se utiliza para levantar o mover una carga con una gran ventaja mecánica.
Polipropileno	Es el polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, etc.

Suplemento	Es una entidad cuyo fin consiste en ampliar otra entidad, ya sea por ser esta última incompleta o por simple voluntad de su mejora o de su perfeccionamiento.
Tolerancia	Actitud de la persona que respeta las opiniones, ideas o actitudes de las demás personas, aunque no coincidan con las propias.
Transgeneracional	Todo lo relacionado con las memorias, se toma en cuenta y se evalúa el modo en que cada persona reacciona frente a los sucesos que le toca vivir en su entorno.
Travertino	Es la denominación de una roca sedimentaria formada por depósitos de carbonato de calcio y que se utiliza con frecuencia como piedra ornamental en construcción, tanto de exterior como de interior.
Veta	Lista o franja que forma un dibujo en un material y que destaca por ser de diferente tono o de distinta materia.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se propone un plan para la gestión de los residuos de mármol; el retal de mármol es el residuo a estudiar para posteriormente recolectar, reciclar y reutilizar para fabricar un piso de mármol artificial.

Se analiza la situación actual de la empresa para saber cuáles son las causas de los residuos de mármol y qué efectos provocan; se describen los ambientes de trabajo y en qué condiciones se encuentran; posteriormente, se diseña el diagrama de operaciones del proceso de fabricación de superficies y acabados para determinar en qué operación del proceso se generan los residuos de mármol y la cantidad estimada que se genera, para luego medir el desempeño de los trabajadores.

Para el diseño de la propuesta del plan de gestión se reúnen datos por medio de encuestas al personal administrativo y operativo sobre las operaciones que generan mayor residuo y la utilidad que se le puede dar al retal de mármol, con base en la experiencia que el personal posee sobre el tema; se analizan los datos obtenidos y las áreas a investigar para proponer un diseño de selección de muestra del retal a reutilizar y la forma de recolectarlo. Posteriormente, se diseña el proceso de trituración del retal de mármol para obtener el polvo que será utilizado para la fabricación de un subproducto de mármol artificial; se diseña, también, el proceso de la fabricación del piso de mármol artificial.

Diseñada la propuesta de gestión, se implementará la recolección del retal de mármol para triturar las piezas seleccionadas con base en la muestra de retal para obtener el polvo de mármol que utilizará en la fabricación del piso de mármol artificial, estableciendo las características que debe poseer este subproducto de mármol con base en los atributos de calidad propuestos.

Finalmente, se obtendrán los resultados de fabricar un piso de mármol artificial, obteniendo el costo de fabricación, el beneficio a la empresa y las utilidades que se le pueden dar a este nuevo material. Se proponen estrategias de mejora continua y herramientas para la evaluación de la calidad de los procesos y el producto fabricado, con auditorías internas y externas.

El diseño del plan de gestión de residuos de mármol estará apoyado por un análisis de impacto ambiental donde sobresale el tema de una producción más limpia: políticas, guías, reglamentos, normas y la descripción de las instituciones que hoy en día apoyan este concepto de producción más limpia en Guatemala. Se diseña un plan de gestión ambiental con medidas de mitigación, seguimiento y control que generen valor a este trabajo de graduación.

OBJETIVOS

General

Diseñar un plan de investigación para la gestión de residuos de mármol en el proceso de fabricación de superficies y acabados en la empresa Formas Geométricas, S.A.

Específicos

1. Gestionar el residuo de mármol en el proceso de fabricación de superficies y acabados en mármol.
2. Determinar la factibilidad de fabricar un piso de mármol artificial.
3. Demostrar la utilidad de los residuos de mármol en el área de la construcción.
4. Investigar sobre los daños a la salud del trabajador y al medio ambiente al no gestionar los residuos de mármol.
5. Indicar los beneficios que se obtienen al gestionar los residuos en el área industrial.
6. Fomentar la importancia de una producción más limpia y diseñar una estrategia de mejora continua.

INTRODUCCIÓN

Formas Geométricas, S.A., es una empresa dedicada al diseño, fabricación e instalación de piedras naturales, con mucha aceptación en el mercado de superficies y acabados, con diferentes opciones en decoración de ambientes exteriores e interiores; día a día busca mejorar la eficiencia de sus procesos de fabricación para obtener calidad en sus productos y servicios, provoca así la motivación de su personal y logra competitividad a nivel industrial; con el fin de buscar la mejora continua para la satisfacción de sus clientes.

Formas Geométricas, S.A., en su proceso de fabricación de superficies y acabos de mármol genera muchos residuos: polvo, lodo y retal de mármol que a largo plazo provoca daños a la salud del trabajador y sobre todo al medio ambiente. El polvo de mármol es respirado por los trabajadores y provoca daños severos a la salud del trabajador; el lodo de mármol provoca un olor desagradable e irritación en la piel al tener contacto sin protección personal; el retal de mármol provoca dificultad de movilidad de los trabajadores de estación en estación, contaminación visual y una mala imagen ante los clientes que visitan la planta de fabricación. Estos residuos cuando no son tratados y son desechados al exterior, provocan severos daños al medio ambiente.

El diseño de un plan para la gestión de residuos de mármol permite el aprovechamiento de los residuos generados en el proceso de fabricación; para reducir al máximo la generación de residuos en su origen y reutilizar los residuos en la fabricación de subproductos de mármol artificial.

El plan de gestión de residuos de mármol, apoyado con el concepto de producción más limpia, pretende prevenir que la contaminación ocurra; además, manejar el impacto ambiental del proceso de fabricación, no solamente los impactos de las salidas, sino que también analizando las causas fundamentales de los problemas ambientales; es una aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada a los procesos de fabricación, a los productos y servicios.

Hoy en día, se ven cada vez más materiales que imitan perfectamente al mármol natural, si bien es cierto que usualmente se utiliza este tipo de material en acabados interiores como forro de escaleras y en suelos interiores en donde se desea dar un toque de distinción y elegancia. Con el retal de mármol recolectado y triturado para la obtención de polvo de mármol, se propone la fabricación de un piso de mármol artificial para ser utilizado como piso de patio de interior que cumpla con ciertos atributos de calidad y que cumpla con las especificaciones del cliente.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. La empresa

Formas Geométricas, S.A., es una empresa dedicada al diseño, fabricación e instalación de piedras naturales (cuarzo, mármol y granito); ofrece a profesionales en el área de la construcción y decoración, así como al cliente final, diferentes opciones de piedras naturales y piedras de ingeniería con materiales de primera calidad para acabados en cocinas, baños, pisos, muros, entre otros. Un servicio responsable a sus clientes con el compromiso de satisfacer las necesidades en cada proyecto, dándoles un toque de belleza, originalidad y comodidad.

La gran variedad de materiales que ofrece la empresa se adaptan perfectamente a cualquier estilo de decoración y uso; y garantiza un acabado ideal de las superficies. Se puede escoger entre tradicionales (mármol, granito y piedras calizas) o modernos (silestone), así como texturas combinadas como el material pavé, como lo describe el gerente general Asdrúbal Agudelo de Formas Geométricas, S.A. en su catálogo de productos, refiriéndose a la descripción de los materiales: silestone, mármol y granito.

El silestone es un material creado a base de cuarzo natural con un tratamiento especial que ofrece al cliente varios colores, extraordinarias texturas y unas altas prestaciones.

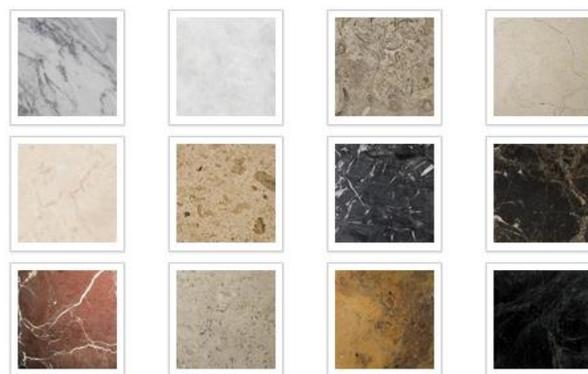
Figura 1. **Piedra de cuarzo**



Fuente: AGUDELO, Asdrúbal. *Formas Geométricas, S.A.: catálogo de productos.* p. 8.

El mármol es una roca natural noble y sensible, variable en color y acabado, con gran valor estético y una alta reputación histórica que lo hace ideal para recubrimientos en espacios que destacan.

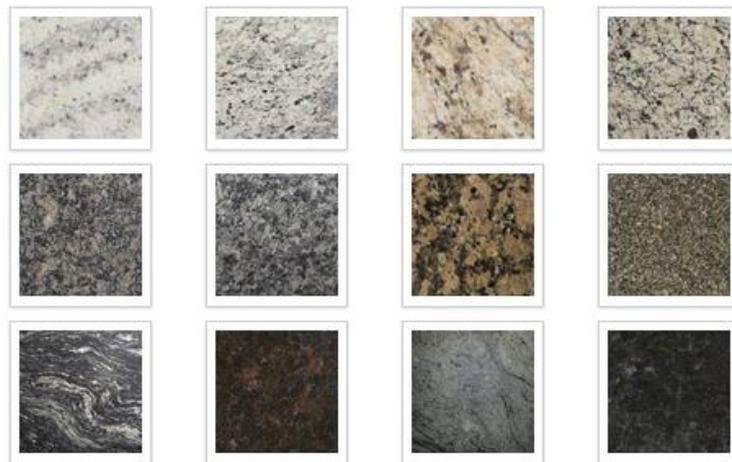
Figura 2. **Piedra de mármol**



Fuente: AGUDELO, Asdrúbal. *Formas Geométricas, S.A.: catálogo de productos.* p. 8.

El granito es una piedra de origen natural que ofrece extraordinaria resistencia al rayado, el desgaste y la intemperie, de noble envejecimiento y aislamiento contra los cambios de temperatura. Es considerado una roca dimensionable, por lo tanto, puede ser cortado y pulido a tamaños y formas específicas. Su dureza lo hace resistente a la corrosión y a la aplicación de esfuerzos de compresión, convirtiéndole en un material apto para cubrir cualquier superficie de decoración.

Figura 3. **Piedra de granito**



Fuente: AGUDELO, Asdrúbal. *Formas Geométricas, S.A.: catálogo de productos.* p. 8

Las piedras calizas son elementos ornamentales con texturas distintas que permiten caracterizar muchos ambientes con un toque de distinción natural, rústico e innovador. Excelente para la decoración de ambientes interiores y exteriores, ideal para el diseño arquitectónico de hoy en día, es uno de los productos líderes de Formas Geométricas, S.A.

Figura 4. **Piedra caliza**



Fuente: AGUDELO, Asdrúbal. *Formas Geométricas, S.A.: catálogo de productos.* p. 8

El Pavé es una línea de mosaicos elaborados con piezas de diversos materiales (mármol, granito, vidrio y más) que al combinarlos entre sí logran una excelente expresión natural del arte y autenticidad en cada ambiente.

Figura 5. **Mosaico pavé**



Fuente: AGUDELO, Asdrúbal. *Formas Geométricas, S.A.: catálogo de productos.* p. 8

1.1.1.1. Ubicación

Formas Geométricas, S.A., se encuentra ubicada en la 3a calle “B” 12-56, zona 2 de Mixco, colonia La Escuadrilla, Ciudad, Guatemala.

Figura 6. **Ubicación de la empresa**



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Word 2013.

1.1.2. **Historia**

Formas Geométricas, S.A., fue fundada en octubre del año 2000 con 14 años de experiencia en el mundo de las superficies con acabados en piedras naturales.

1.1.3. Misión

Entregar a los clientes: los productos y servicios requeridos con los niveles de calidad y servicio de los más altos estándares de calidad, de manera oportuna y a un nivel de precio justo, que le permita a la empresa cumplir con sus metas de rendimientos económicos establecidos.

1.1.4. Visión

Ser la empresa de suministros e instalación de mármoles, granitos, silestones y otras piedras reconocida en todo el país y la región centroamericana como la mejor y la más importante de Guatemala.

1.1.5. Valores

Formas Geométricas, S.A., fomenta los siguientes valores dentro de la empresa y con el personal:

- Liderazgo
- Excelencia
- Compromiso
- Innovación
- Responsabilidad
- Eficiencia
- Trabajo en equipo
- Disciplina
- Confianza
- Motivación

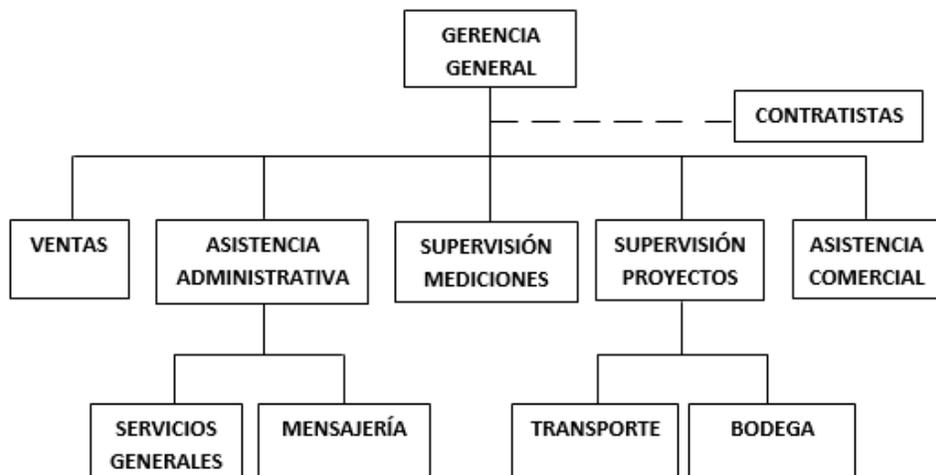
1.1.6. Organización

Formas Geométricas, S.A., es una organización privada, dedicada al diseño, tallado e instalación de piedras naturales (cuarzo, mármol y granito). La organización cuenta con 12 personas en el área administrativa y con 30 personas en el área operativa (contratistas) que trabajan directamente en el proceso de fabricación de superficies y acabados.

1.1.7. Puestos y funciones

En el área administrativa laboran 12 personas, conformadas por los puestos de: gerencia, supervisión de proyectos, supervisión de medición, asistencia comercial, asistencia administrativa, ventas, bodega, mensajería, transporte y servicios generales.

Figura 7. Organigrama personal administrativo



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Word 2013.

Los puestos de trabajo del personal administrativo, se describen a continuación:

- Gerente general: búsqueda de proyectos nuevos, control y supervisión de los puestos y funciones; administrar ingresos y costos de la empresa, planificación estratégica; realizar evaluación sobre el rendimiento del personal; velar por el cumplimiento de metas y objetivos.
- Ejecutiva de ventas: hacer recorridos por las zonas de interés de la ciudad y contactar clientes o proyectos nuevos; preparar y presentar cotizaciones a los clientes; atender clientes en la sala de ventas, promover productos y catálogos nuevos.
- Asistente administrativa: emisión de facturas de los productos, control de caja chica; realizar cierre diario de la misma, cobros y pago a proveedores; coordinar envío de depósitos al banco, pago de nómina, planificación de mensajería.
- Supervisor de mediciones: realizar mediciones en proyectos; realizar dibujos de planos para los contratistas; ubicar aparatos y plantillas físicas, apoyar en gestiones comerciales.
- Supervisor de proyectos: planificación y control de las instalaciones en los proyectos, logística; atender reclamos de los clientes, control de calidad de los productos, control en el proceso de fabricación, seguridad industrial, supervisión de instalaciones en proyectos.
- Asistente comercial: manejo de archivo, trámites y gestiones comerciales, control de la contabilidad, control de cartera de los clientes.

- Encargado de servicio: aseo de todas las áreas de oficina, aseo general de bodega de insumos, aseo general de bodega de materia prima, aseo del área de vestidores y sanitarios.
- Mensajero: realizar rutas de mensajería y entrega de documentos, apoyo en bodega de insumos, apoyo en bodega de materia prima.
- Conductor: llevar a contratistas a los proyectos, compra de insumos para bodega; recoger materia prima, entrega de materia prima.
- Bodeguero: control de inventario de insumos y materia prima, entrega de insumos a contratistas, apoyo en el control de proceso de fabricación, supervisión en el ingreso de materia prima.

En el área operativa laboran 30 trabajadores: contratistas, instaladores, operarios de máquinas y ayudantes.

Figura 8. **Organigrama personal operativo**



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Word 2013.

Los puestos de trabajo del personal operativo, se describen a continuación:

- **Contratistas:** son los líderes de cada grupo de trabajo; reciben las órdenes de trabajo, generadas por los supervisores de medición; dan las instrucciones a sus trabajadores del proceso e instalación del producto final.
- **Instaladores:** su función principal es instalar el producto final; son transportados en los vehículos de la empresa; instalan las superficies y los acabados en piedras naturales.
- **Operarios de máquina:** este grupo de trabajo recibe las instrucciones de los contratistas para el proceso del producto, desde el operario de la máquina de corte; por los operarios de las máquinas pulidoras y los operarios de las máquinas de brillo.
- **Ayudantes:** son los encargados de asistir a los operarios de máquina de cada área de trabajo; reciben las indicaciones, transportan, cargan y descargan la materia prima.

1.2. La investigación

1.2.1. Definición

“La investigación es considerada una actividad humana, orientada a la obtención de nuevos conocimientos y su aplicación para la solución a problemas o interrogantes de carácter científico así mismo la investigación

científica es el nombre general que obtiene el complejo proceso en el cual los avances científicos son el resultado de la aplicación del método científico para resolver problemas o tratar de explicar determinadas observaciones.”¹

1.2.2. Características

Entre las principales características que debe tener toda investigación, se encuentran las siguientes:

- Estar planificada, es decir, tener una previa organización, establecimiento de objetivos, formas de recolección y elaboración de datos y de realización de informe.
- Contar con los instrumentos de recolección de datos que respondan a los criterios de validez, confiabilidad y discriminación, como mínimos requisitos para lograr un informe científicamente válido.
- Ser objetiva, es decir, el investigador debe tratar de eliminar las preferencias personales y los sentimientos que podrían desempeñar o enmascarar el resultado del trabajo de investigación.
- Apuntar a medidas numéricas, en el informe tratando de transformar los resultados en datos cuantitativos más fácilmente representables y comprensibles y más objetivos en la valoración final.

¹ CHAPOUTHIER, Georges. *La investigación*. es.wikipedia.org/wiki/Investigación. Consulta: 19 de mayo de 2015.

- Ofrecer resultados comprobables y verificarles en las mismas circunstancias en las se realizó la investigación.

1.2.3. Tipos de investigación

Entre los principales tipos de investigación, se encuentran los siguientes:

- **Básica:** llamada también investigación pura o fundamental, es trabajada en su mayor tiempo en los laboratorios. Su principal aporte lo hace al conocimiento científico, explorando axial nuevas teorías y transformar las ya existentes. Además, investiga principios y leyes actuales.
- **Aplicada:** es utilizar los conocimientos obtenidos en las investigaciones en la práctica, y con ello traer beneficios a la sociedad. Un ejemplo es el protocolo en la investigación médica.
- **Analítica:** es un método más complicado que la investigación descriptiva, y su principal objetivo es contrastar, entre grupos de estudio y de control, las distintas variables. Además, es la constante proposición de teorías que los investigadores intentar desarrollar o probar.
- **Investigación de campo:** es la investigación aplicada para interpretar y solucionar alguna situación, problema o necesidad en un momento determinado.
- **Cualitativa:** es un método de investigación empleado en muchas disciplinas académicas, tradicionalmente en las ciencias sociales, sino también en la investigación de mercados y contextos posteriores.

- **Cuantitativa:** se refiere a la investigación empírica sistemática de los fenómenos sociales a través de técnicas estadísticas, matemáticas o informáticas. El objetivo de la investigación cuantitativa es desarrollar y emplear modelos matemáticos, teorías y / o hipótesis relativas a los fenómenos.

1.2.4. Importancia

La investigación ayuda a mejorar el estudio porque permite establecer contacto con la realidad a fin de que la conozcamos mejor. Constituye un estímulo para la actividad intelectual creadora. Ayuda a desarrollar una curiosidad creciente acerca de la solución de problemas, además, contribuye al progreso de la lectura crítica.

1.2.5. Residuos

1.2.5.1. Definición

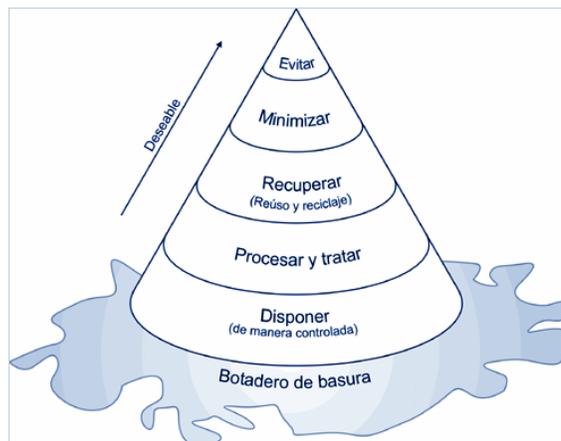
Se considera residuo cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseché o tenga la intención o la obligación de desechar, es decir es toda sustancia u objeto que por sí no tiene ninguna utilidad para su poseedor, como lo menciona la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados en sus guías de buenas prácticas ambientales.

Todo proceso productivo consume materia prima y energía, por lo que el residuo industrial es aquel sobrante no utilizado en todo proceso de producción, es decir, que el residuo es el material que pierde utilidad para el producto final; un producto final que puede ser un residuo también en función del tiempo, cuando esté pierde su vida útil.

1.2.5.2. Gestión

La gestión de residuos es el control de la generación, almacenaje, recogida, transferencia y transporte, tratamiento y evacuación de los residuos, de forma que sea respetuosa con el medio ambiente. Toda gestión de residuos siempre va acompañada de una gestión ambiental, quien respalda que toda investigación u operación se maneje dentro de los aspectos legales, como lo menciona la estrategia de gestión de residuos en la evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica.

Figura 9. **Esquema de gestión de residuos**



Fuente: *Gestión de residuos*. http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidad2.htm]. Consulta: 20 de mayo de 2015.

1.2.5.3. Clasificación

A continuación, se describen las principales clasificaciones de los residuos.

- Según su origen:
 - Domésticos: generados en los hogares.
 - Comerciales: generados en los comercios.
 - Industriales: generados en las industrias y fábricas.
 - Biorresiduos: residuos biodegradables de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina.
 - De la construcción: todos los generados en obras de construcción.
 - Sanitarios: generados en los hospitales.
 - Mineros: residuos generados en las actividades de extracción y minería.
 - Radioactivos: residuos generados en actividades que trabajan con elementos químicos radioactivos.

- Según su composición:
 - Residuos orgánicos: es cualquier residuo de origen biológico, como plantas o alimentos.
 - Residuos inorgánicos: es cualquier residuo que no sea biológico, como un plástico o metal.

- Mezclas de residuos: es una fracción de residuos que mezcla las dos anteriores.
- Residuos peligrosos: es cualquier residuo con potencial altamente tóxico o peligroso, como disolventes, pinturas.

Figura 10. **Clasificación de los residuos**



Fuente: *Gestión integral de los residuos sólidos*. www.gestionintegralresiduos.blogspot.com.
 Consulta: 20 de mayo de 2015.

1.2.6. Mármol

1.2.6.1. Definición

“En geología mármol es una roca metamórfica compacta formada a partir de rocas calizas que, sometidas a elevadas temperaturas y presiones, alcanzan un alto grado de cristalización. El componente básico del mármol es el carbonato cálcico cuyo contenido supera el 90 %; los demás componentes

son los que dan gran variedad de colores en los mármoles y definen sus características físicas.”²

Desde el punto de vista de las artes, el concepto de mármol se establece según su apariencia, siendo ésta, en general; las piedras calizas que son susceptibles de un pulimento fino, logrado gracias a la compacidad de la formación de sus materiales aglomerados. Incluso se acepta y extiende el concepto de mármol a rocas que presentan un aspecto de acabado semejante en apariencia al mármol, a pesar de que, en su composición, la presencia de carbonato cálcico sea escasa o nula.

Figura 11. **Tipos de mármol**



Fuente: *Tipos de mármol*. www.arqhys.com/construccion/marmol-tipos.html. Consulta: 25 de mayo de 2015.

² KEAREY, Philip. *Mármol*. es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1rmol. Consulta: 25 de mayo de 2015.

1.2.6.2. Características

Entre las principales características del mármol, se encuentran las siguientes:

- Desde el punto de vista mineralógico:
 - Los yacimientos de mármol habitualmente aparecen de forma irregular como filones y más raramente en capas (estratos).
 - Conjuntamente con el mármol aparecen en estos yacimientos grafito, clorita, talco, mica, cuarzo y pirita.
 - Para que una roca se denomine mármol ha de estar compuesta principalmente por carbonato de calcio, admitiendo algunas trazas de carbonato de magnesio.

- Desde el punto de vista artesanal:
 - Belleza estética
 - Ecológico
 - Compatible con el medio ambiente
 - Práctico
 - Duradero

1.2.6.3. Clasificación

No existe una clasificación unificada respecto al mármol, ya que la variedad existente es muy amplia, pero normalmente se puede emplear una clasificación según su estructura:

- Sencillos o monocromos: si tienen un solo color uniforme.
- Polícromos: si tienen varios colores.
- Veteados: si están listados de diferente color que el fondo.
- Brechas: si están formados por fragmentos angulares de diferentes coloraciones (se llaman brocateles si los fragmentos son de menor tamaño).
- Arborescentes: si tienen dibujos veteados.
- Lumaquelas o mármoles fosilíferos: si contienen fragmentos de conchas y otros fósiles.

1.2.6.4. Composición y propiedades físicas

El componente básico del mármol es el carbonato cálcico, cuyo contenido supera el 90 %; los demás componentes son considerados impurezas, siendo estas las que nos dan gran variedad de colores en los mármoles y definen sus características físicas.

Las propiedades básicas del mármol son las siguientes:

- Densidad entre 2,38 y 2,87 kg/dm³ (el agua tiene densidad 1).
- Dureza Mohs es de 3-4; (se puede rayar con todo lo que tenga una dureza igual o mayor).
- Absorción de agua en peso entre 0,2 y 0,7 %.
- Resistencia a la compresión entre 600 y 1 000 kg/cm².
- Resistencia a la tracción entre 100 y 360 kg/cm.

1.2.6.5. Tipos de residuos de mármol

Según el Catálogo de Residuos Europeo (CRE) en el apartado residuos de la prospección, extracción de minas y canteras y tratamientos físicos y químicos de materiales; y el Catálogo de Residuos de Catalunya (CRC) en el apartado residuos de la fabricación y manipulación de cerámica, porcelana, cimientos, materiales de construcción, cal, piedras y sus derivados, se describen los siguientes residuos:

- Catálogo de Residuos Europeos (CRE): 010413 residuos del corte y elaboración de la piedra.
- Catálogo de Residuos de Catalunya (CRC): 100607 lodos y suspensiones acuosas de manipulación de cerámica, abrasivos. 160501 lodos de tratamiento. Corte y pulido de piedra.

1.2.6.5.1. Polvo de mármol

Polvo de mármol se caracteriza por su estructura fina de polvo, similar a la de la piedra caliza triturada. Dado que el mármol es una roca dura cristalizada, el polvo está compuesto de partículas suaves. El polvo, también, tiene un poco de brillo a la misma debido a las partículas cristalizadas, y también se puede adquirir un color, amarillo, incluso las partículas de color verdoso gris marrón debido a impurezas en el color rosa o de mármol original.

Figura 12. **Polvo de mármol**



Fuente: *Polvo de mármol blanco*. <http://www.islaycia.com.mx/productos.html>. Consulta: 25 de mayo de 2015.

1.2.6.5.2. Lodo de mármol

Los lodos de mármol son procedentes del lavado y corte de las piezas de mármol, grandes cantidades de lodo son generados diariamente en la industria de mármol, estos presentan peligro en las instalaciones y áreas de trabajo, pues por su volumen causan accidentes dentro de la industria.

Figura 13. **Lodo de mármol**



Fuente: elaboración propia.

1.2.6.5.3. Retal o desperdicio de mármol

Es el sobrante de las placas de mármol en el proceso de corte de las piezas, provocando contaminación visual e incomodidad a los trabajadores. Es el residuo de mármol al cual se le puede dar mayor utilidad en el momento de reciclarlo.

Figura 14. **Retal de mármol**



Fuente: elaboración propia.

1.2.6.6. Usos del mármol

El mármol es un componente caro, sensible y muy variable, pero con un inapreciable valor estético y una alta reputación histórica que lo hace apetecible por muchas personas. El mármol se utiliza en la construcción, decoración y en el mundo de la escultura.

Entre las principales aplicaciones del mármol, se encuentran las siguientes:

- Recubrimiento decorativo de paredes, ya sea en zonas exteriores o interiores de edificios, especialmente porque da un bello aspecto a la edificación de por vida eliminando con esto la necesidad de pintar.
- En paredes interiores de pasillos de instalaciones médicas (hospitales, clínicas, etc.) donde el tráfico de personas es alto y donde la sensación y la necesidad de limpieza es importante.
- En lugares donde la estética juegue un papel preponderante y los gastos de mantenimiento se justifiquen por la propia productividad del local, tales como salones de reuniones, salas de conferencia o recepción, palacios de arte o de congresos y similares.
- Para el esculpido de obras arquitectónicas, obras de ingeniería y obras de arte.

1.2.6.7. Mármol en Guatemala

Por sus características geológicas, Guatemala es un país volcánico máximo exponente de la presencia de mármol en las cadenas montañosas centroamericanas. Existen unas empresas altamente reconocidas en Guatemala que distribuyen y manejan el mármol: Granitos y Mármoles Arquitectónicos S.A., una empresa focalizada en la elaboración de cubiertas en piedra natural para baños, cocinas, muros, muebles, fachadas, etc; Antique S.A., comercializa piedras duras para el sector de la construcción y acabados en general. Guatemarmol referente en la explotación del mármol en Guatemala y Centroamérica; y Formas Geométricas, S.A., empresa donde se realizará el proyecto de investigación.

Guatemala tiene sus propias canteras de explotación de mármol, donde se extraen los bloques de piedra y pasan por todo un proceso para culminar con las placas de mármol en diferentes dimensiones. En la actualidad hay 19 minas autorizadas, pero solo 8 están activas en Guatemala, Quiché, Chimaltenango, Baja Verapaz, Izabal, Chiquimula, Zacapa y El Progreso. En Guatemala se explotan las variedades conocidas como blanco, verde saltan, verde mare, verde quetzal, verde Tikal, blanco Alejandra, gris San Lorenzo, negro Las Minas y beige.

“El mármol verde (las serpentinias) se localiza en Baja Verapaz, Guatemala, El Progreso y Zacapa. Mientras que el mármol blanco (las calizas) tiene las tonalidades grises, negro y beige y se explota en minas ubicadas en Alta Verapaz, El Progreso, Zacapa, Chiquimula e Izabal.”³

³ CATALÁN, José. *Guatemarmol*. www.guatemarmol.com/web/grupo-guatemarmol/. Consulta: 30 de mayo de 2015.

Figura 15. **Canteras de Guatemarmol**



Fuente: *Guatemarmol*. www.guatemarmol.com/web/grupo-guatemarmol/. Consulta: 30 de mayo de 2015.

1.2.7. Aportes del residuo de mármol a la industria

Las propiedades físicas, mineralógicas y químicas de las rocas carbonáticas son muy utilizadas en muchos sectores industriales. Aunque el uso principal de estas rocas es en construcción, como agregado o en la producción de cal y cemento, estas también son ampliamente utilizadas en la industria del hierro y el acero, en la industria química, en la manufactura de vidrio, como carga y otros usos específicos. En estos usos no relacionados con la construcción o aplicaciones de alta pureza, las rocas carbonáticas pueden ser usadas como materia prima químicamente reactiva, una carga inerte o pigmento.

La utilidad de los residuos de la elaboración de mármol es básicamente la misma que la del carbonato cálcico ya que las propiedades físicas,

mineralógicas y químicas son no idénticas pero muy similares; y considerando que dichos residuos carecen de elementos tóxicos o nocivos desde un punto de vista químico, la aplicación en las industrias referentes es factible, siempre que se rijan según las características técnicas de cada producto o uso industrial.

1.2.8. Mármol artificial

El mármol artificial es una pieza formada por residuos de mármol, ya sea por polvo o retal de mármol y por otros materiales o productos que al mezclarse dan la apariencia de una piedra natural. Su combinación da funcionalidad y utilidad a las piedras de ingeniería, minimizando los costos, el mármol artificial se compone principalmente de mármol natural, granito, cuarcita, polvo de piedra, concha, vidrio, y así sucesivamente.

1.2.9. Proceso de fabricación

1.2.9.1. Definición

El proceso de fabricación consiste en una serie de operaciones que parten de una materia prima, modifican su forma en todo un proceso hasta convertirla en una pieza elaborada que tiene utilidad industrial. La transformación de la materia prima a un producto puede ser efectuada a través de máquinas o bien con el trabajo manual de expertos en la materia.

1.2.9.2. Características

En el proceso de fabricación, la forma final de la pieza debe cumplir con una serie de características fundamentales para que sea útil:

- Quedar lista para ser montada en conjunto
- Cumplir con el diseño previamente establecido
- Coste razonable de material y energía
- Superar el control de calidad que garantice su fiabilidad

“Para fabricar una pieza, además de realizar su diseño previo en el que se especifiquen sus dimensiones y materiales, es necesario elegir el procedimiento de fabricación más idóneo, con el fin de dar forma al material.”⁴

1.2.9.3. Tipos

Los principales tipos de fabricación se describen a continuación:

- Moldeo
 - Fundición
 - Pulvimetalurgia
 - Moldeo por inyección
 - Moldeo por soplado
 - Moldeo por compresión
- Conformado o deformación plástica
 - Laminación
 - Forja
 - Extrusión
 - Estirado
 - Conformado de chapa
 - Encogimiento

⁴ HERVAS, Villalba. *Procedimientos de fabricación. Tecnologías de fabricación.* iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2012/02/introduccion_y_sin_perdida_material.pdf. Consulta: 30 de mayo de 2015.

- Calandrado
- Procesos con arranque de material
 - Mecanizado
 - Torneado
 - Fresadora
 - Taladrado
- Tratamiento térmico
 - Templado
 - Revenido
 - Recocido
 - Nitruración
 - Sinterización
- Tratamientos superficiales
 - Acabado
 - Abrasivos
 - Pulido

Figura 16. **Fabricación de mármol tratamiento superficial**



Fuente: *Planta de fabricación*. www.guatemarmol.com/web/grupo-guatemarmol/. Consulta: 30 de mayo de 2015.

1.2.9.4. Importancia

Para la obtención de un determinado producto serán necesarias multitud de operaciones individuales de modo que, dependiendo de la escala de observación, puede denominarse proceso tanto al conjunto de operaciones desde la extracción de los recursos naturales necesarios hasta la venta del producto como a las realizadas en un puesto de trabajo con una determinada máquina/herramienta.

1.2.10. Superficies y acabados

1.2.10.1. Definición

El acabado superficial de una pieza es un proceso de fabricación usado en la industria con el objetivo de obtener una superficie deseada en algún producto ya sea por estética o para algún uso mecánico. En la actualidad, los acabados tienen una amplia variedad de usos, también, el producto se puede conservar limpio, agradable a la vista y al tacto.

1.2.10.2. Tipos

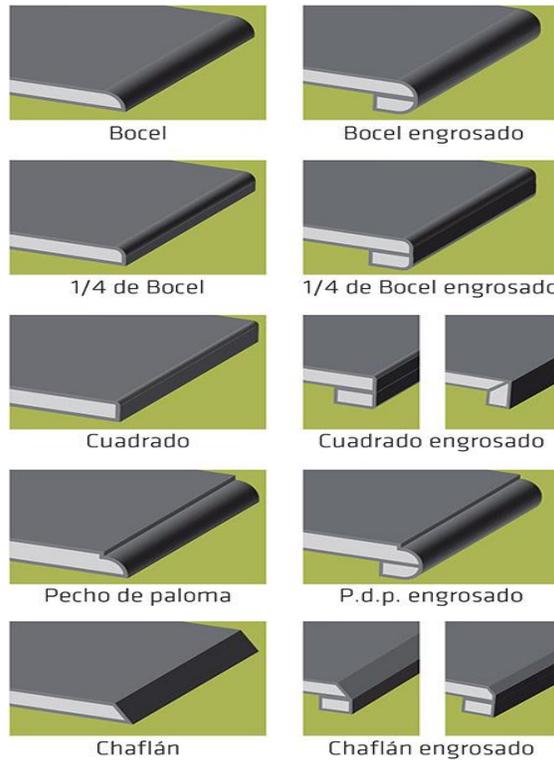
Entre los tipos de superficies y acabados más importantes, se encuentra los siguientes:

- Superficie real: la superficie real, es el tipo de superficie obtenida después de la fabricación de la pieza, es decir, la superficie que no ha sufrido ningún cambio o acabado superficial.

- Superficie geométrica: la superficie geométrica es tipo de superficie sin imperfecciones basada en un orden de trabajo, cumpliendo con una serie de requisitos asignados por el diseñador.
- Superficie efectiva: es el tipo de superficie que se aproxima a la superficie real a partir de mediciones con instrumentos. Corresponde más al departamento de control de calidad.
- Acabado por máquina de corte: en el acabado que se obtiene por una máquina de corte, se pretende obtener una superficie con características adecuadas para la aplicación de la pieza o material que se desea fabricar.
- Acabado por pulido: el acabado por pulido, es un proceso de súper acabado con arranque de viruta y con abrasivo duro que se realiza a una pieza rectificada previamente, con el objetivo de elevar la precisión y calidad superficial además de mejorar la (cilindricidad, redondez, etc.).
- “Acabado por recubrimiento: el acabado por recubrimiento, se da cuando un material es depositado sobre la superficie de un objeto. En muchos casos los recubrimientos son realizados para mejorar algunas propiedades o cualidades de la superficie.”⁵

⁵ HINOJOS, Sergio. *Acabados superficiales y tipos de superficies*. www.monografias.com/trabajos70/acabados-superficiales-tipos-superficies/acabados-superficiales-tipos-superficies.shtml. Consulta: 30 de mayo de 2015.

Figura 17. **Superficies, molduras y acabados de mármol**



Fuente: AGUDELO, Asdrúbal. *Tipos de molduras:* www.formasgeometricas.net/fg/molduras/.
Consulta: 30 de mayo de 2015.

1.2.10.3. **Importancia**

Hoy en día, en los procesos de fabricación no basta solo con fabricar cierta cantidad de piezas en un determinado tiempo; sino que es importante darles a las piezas ciertas características superficiales y acabados especiales. Innovar para el buen funcionamiento y utilidad de las piezas y así lograr competitividad frente a la competencia.

1.2.11. Eficiencia

1.2.11.1. Definición

“Eficiencia es el logro de las metas con la menor cantidad de recursos”⁶; es decir; que la eficiencia se da cuando se utilizan menos recursos para lograr un mismo objetivo, o al contrario; cuando se logran más objetivos con los mismos o menos recursos. “La eficiencia es la relación entre la cantidad de recursos utilizados y la cantidad de recursos estimados o programados.”⁷

1.2.11.2. Importancia

Lo más importante de la eficiencia, en los procesos de fabricación es lograr la cantidad mínima de entradas (horas-hombre, capital invertido, materias primas, etc.) para obtener un nivel o grado de datos o salidas (ganancias, objetivos cumplidos, productos, etc.).

1.2.11.3. Beneficios

Entre los principales beneficios de la eficiencia, en los procesos de fabricación; se encuentran los siguientes:

- Aprovechamiento de los recursos
- Adecuada relación entre ingresos y egresos
- Conservación del medio ambiente
- Posicionamiento frente a la competencia

⁶ KOONTZ, Harol; WEIHRICH, Heinz. *Eficiencia: administración una perspectiva global*. p. 724.

⁷ QUESADA, María del Rosario; VILLA AREANAS, William. *Estudio del trabajo*. p. 132.

- Fomenta la mejora continua
- Ahorro de tiempo y espacio

1.2.12. Producción más limpia

1.2.12.1. Definición

Se define como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada a los procesos productivos, los productos y los servicios para aumentar la eficiencia global y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente. Para el caso de los procesos productivos se orienta hacia la conservación de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas, y la reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones contaminantes y los desechos. “En el caso de los productos se orienta hacia la reducción de los impactos negativos que acompañan el ciclo de vida del producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. En los servicios se orienta hacia la incorporación de la dimensión ambiental en el diseño y en la presentación de los mismos”.⁸

1.2.12.2. Importancia

La producción más limpia constituye entonces una verdadera macroestrategia empresarial que, mediante el uso de preceptos e instrumentos de las ciencias de la producción, la ingeniería y el ambiente, aplicados de manera preventiva e integral.

⁸ Organización de las Naciones Unidas. *Introducción a la producción más limpia: manual de producción más limpia*. p. 29.

Busca lograr el empleo óptimo de los recursos productivos, principalmente de los flujos de agua, energía, materiales e insumos en general para incrementar la productividad y minimizar los impactos ambientales de los sistemas productivos, procesos y productos bienes y servicios con el fin de mejorar la rentabilidad de la empresa y su amigabilidad ambiental.

1.2.12.3. Beneficios

Entre los beneficios más importantes que se obtienen de una producción más limpia, se encuentran los siguientes.

- Disminución del riesgo ambiental para la salud y de accidentes laborales.
- Ahorros económicos de materias primas, agua y energía.
- Ahorros en la gestión y el tratamiento de las corrientes residuales.
- Mejora de la imagen pública de la empresa.
- Aumento de la calidad del producto.
- Reducción de productos fuera de especificaciones.
- Racionalización de la estructura de trabajo.
- Superación de hábitos rutinarios y replanteamiento de procesos y procedimientos.
- Optimización de los procesos y de los recursos.
- Facilita el cumplimiento de los requisitos ambientales de la empresa y permite su desarrollo sostenible.

2. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

En todo proceso de toma de decisiones, se empieza definiendo el problema, seguido de diagnosticar dicho problema, para posteriormente seleccionar de un grupo de ideas y analizar las diferentes alternativas, proponer e implementar la que mejor convenga para la solución del problema, sin olvidar controlar y evaluar la misma para su mejor funcionamiento, apoyado en estudios referentes al tema de investigación.

2.1. Situación actual de la empresa

Formas Geométricas, S.A., es una empresa que se dedica a la fabricación de superficies y acabados en piedras naturales como mármol, granito y cuarzo, siendo estas piezas diseñadas e instaladas según los requerimientos del cliente. El tipo de fabricación que se utiliza dentro de planta, es la fabricación bajo pedido, siendo el proceso generado por una venta, luego existe un plan de trabajo inicial trasladando los datos concretados entre el cliente y el vendedor, un plan de trabajo final por cualquier cambio requerido por el cliente, se genera una orden de corte con material y las medidas de cada pieza a trabajar, para finalizar con una hoja de trabajo con el diseño y las especificaciones del cliente para la fabricación del producto final. Actualmente, Formas Geométricas, S.A., pasa por un problema: genera muchos desperdicios de mármol lo cual repercute con deficiencia en el proceso y desempeño de los operarios, gastos indirectos de fabricación (energía eléctrica, depósitos de desperdicios, equipo de limpieza), retrasos en los pedidos y entrega de la fabricación, reducción de espacio en los ambientes de trabajo, mala imagen de la empresa y muchas situaciones que se analizarán más adelante. Todo esto

es debido a que la empresa no cuenta con un sistema de recolección de polvo, mediante campanas de absorción de polvo que lo conduzca por uno conducto hacia unos depósitos y se almacene correctamente el polvo de mármol, producto de eso; el polvo se mantiene en el ambiente por toda la planta generando problemas a la salud del trabajador más cuando el personal no usa el equipo de protección personal y daños al medio ambiente cuando este sale de las instalaciones de la planta.

La planta cuenta con un tinaco de agua que administra agua para toda la planta para las operaciones de cuadré y corte y en la operación de pulido y brillo, además cuenta con canaletas donde circula el agua hacia tres fosas o tanques en donde el agua residual se queda depositada. Para entender mejor el paso de agua, se podría decir, que del tinaco baja el agua que sirve para la operación de corte, la máquina va cortando el material, luego el agua cae hacia las canaletas cubiertas por rejillas evitando que el retal de mármol no caiga; seguido, el agua que circula por las canaletas va a dar a las fosas donde el agua pasa de fosa en fosa hasta llegar a la tercera fosa que suministra el agua nuevamente hacia el tinaco. Es decir, el agua residual es tratada y reutilizada en el proceso de fabricación, el problema surge cuando en las canaletas y más en las fosas el agua residual se sedimenta provocando que se formen los lodos de mármol.

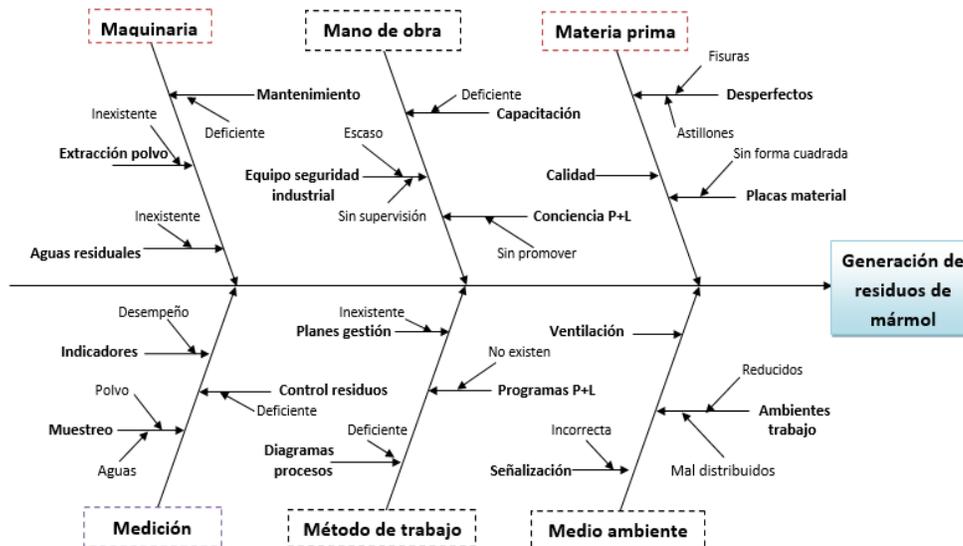
Cuando la materia ingresa a la planta y se almacena el área de almacenamiento de materia prima, a veces ocurre que se golpean con otras placas lo cual genera que se desprendan pequeños pedazos de material, provocando retal en las áreas de trabajo. En el área de corte, la operación de cuadré y corte se genera la mayor parte de desperdicio de material; en el área de tallado el retal formado es mínimo, pero colabora a las incomodidades del ambiente laboral. Todo ese desperdicio o retal de mármol no se recoge en ese

mismo momento, sino hasta al finalizar de cada día, ni se cuenta con un plan de recolección de desperdicio, lo que genera inconvenientes en el traslado de material, tráfico del personal, mala imagen frente las visitas de los clientes y accidentes dentro de la planta.

2.1.1. Diagrama de causa-efecto

Las empresas hoy en día no solo deben preocuparse de que sus procesos sean eficientes, sino que también buscar la mejora continua y la satisfacción de sus clientes. Por esa razón, es que con el diagrama de causa-efecto y la técnica de las 6 M, se hará el análisis de la inexistencia en la gestión de residuos de mármol en la planta de Formas Geométricas, S.A., que representan cada causa con sus posibles efectos de la generación de residuos de mármol.

Figura 18. Diagrama causa-efecto



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Después de haber analizado el diagrama causa-efecto, se determino que el problema por el que pasa la planta de Formas Geométricas, S.A., se centra en la generación de residuos de mármol porque no existe un plan para su gestión, las posibles causas son las siguientes:

- **Materia prima:** los desperfectos en las placas de mármol, las fisuras o los astillones en las placas de mármol provocan que el material se quiebre al momento del corte. La calidad del material es de vital importancia por su composición y resistencia evitando quebraduras de material. Las placas de mármol cuando ingresan aserradas, es necesario darles una forma cuadrada para el buen funcionamiento del corte de las piezas a medida, lo cual genera retal de mármol.
- **Mano de obra:** la deficiente capacitación y la falta de conciencia sobre la gestión de residuos de mármol y la producción más limpia (P+L) hacen a que el personal realice las actividades muchas veces sin eficiencia. El uso incorrecto del equipo de protección industrial: mascarilla, guantes, casco, botas industriales provoca accidentes dentro la planta de fabricación y daños al personal.
- **Maquinaria:** no realizar mantenimientos preventivos y planificados a la máquina de corte y a las máquinas de uso manual genera deficiencia en los cortes provocando mayores cantidades de polvo además de quebraduras en el material aumentando el retal de mármol. Al no implementar maquinaria para la extracción y recolección de polvo y para el tratamiento de lodos provoca mala gestión en los residuos de mármol.
- **Medio ambiente:** toda planta de fabricación debe tener sus áreas de trabajo bien distribuidas y con el espacio suficiente para que los

trabajadores puedan laborar de mejor manera, caso contrario provoca acumulación de residuos de mármol. Tener una señalización de las áreas de trabajo y una buena ventilación disminuirá la acumulación de polvo y retal de mármol.

- Métodos de trabajo: Formas Geométricas, S.A., al carecer de diagramas de procesos bien elaborados y no contar con una metodología correcta de planes de gestión y programas de producción más limpia, presentara deficiencias en sus procesos de fabricación.
- Mediciones: no planificar planes de muestreo del polvo y las aguas residuales para su posible gestión, va a provocar daños severos a la salud de los trabajadores y daños al medio ambiente a mediano y/o largo plazo. Indicadores de desempeño ayudarían a evaluar la productividad del personal y determinar en qué medida los residuos de mármol le estén afectando en su labor y rendimiento.

2.1.2. Área estimada de la empresa

Es una empresa de 2 niveles; la planta de fabricación se encuentra ubicada en el primer nivel con las siguientes dimensiones: frente de 13,45 metros, fondo de 25,45 metros, formando un área 342,30 m² (metros cuadrados) sin divisiones y una altura de 6,50 m; cuenta con una pequeña bodega de materiales e insumos, un área de vestidor y comedor para los operarios, dos sanitarios y dos duchas.

Las oficinas administrativas están ubicadas en el segundo nivel, con un área de 4,50 X 7,60 m, distribuidas de la siguiente manera: oficina de gerencia

general, oficina de asistencia administrativa, oficina de supervisores de proyectos y mediciones, oficina de ventas y asistencia comercial y un sanitario.

Figura 19. **Formas Geométricas, S.A.**



Fuente: elaboración propia.

2.1.3. Infraestructura y servicios básicos

El techo de la empresa es de una estructura metálica con vigas de costanera a dos aguas (ver figura 20), con lámina galvanizada color gris debido a su peso ligero, es impermeable y no es aislante del calor y ruido, los muros son de block. El piso de la planta de fabricación es de concreto armado, tiene portones de metal, rejillas de seguridad en los desagües en el área de cuadré y corte, pulido y brillo de las piezas.

En el área de oficinas, el piso es de cemento líquido (piso normal decorativo), los muros son de tabla yeso, las ventanas son metálicas, las

puertas son de madera; el entre piso de la planta de fabricación y las oficinas administrativas es de concreto armado con vigas de costanera.

Figura 20. **Techo de la empresa**



Fuente: elaboración propia.

El suministro de agua potable es a través de la municipalidad de Mixco, se estima que se consume una cantidad de agua de 100 a 120 m³/mes en el proceso de fabricación; siendo las áreas que más utilizan agua son: área de cuadré y corte, área de pulido y brillado. La empresa cuenta con drenaje pluvial, que recolecta el agua generada por la lluvia, por medio de una canaleta metálica instalada en el alero del techo con bajas de tuberías de PVC de 4 pulgadas de diámetro a los laterales del inmueble.

El drenaje sanitario es de tipo doméstico, que inicia en las acometidas de los servicios sanitarios, canaliza el agua doméstica por medio de acometidas de

PVC en diámetros de 2 y 4 pulgadas para finalmente dirigirla al drenaje municipal. La fuente de energía eléctrica es la Empresa Eléctrica de Guatemala, con el tipo de carga de 110 voltios para las máquinas pulidoras, la iluminación y servicios auxiliares y carga de 220 voltios para la máquina cortadora, con un sistema trifásico, utilizando un centro principal de tableros.

2.2. Áreas de trabajo de fabricación

A continuación, se describirán las áreas de trabajo de la planta de fabricación de Formas Geométricas, S.A.; para efectos de investigación se trabajará solo con las áreas de fabricación; como se mencionó anteriormente la planta cuenta con 342,30 m² donde están todas las áreas de fabricación.

2.2.1. Área de almacenamiento de materia prima

A la planta llegan contenedores cargados con placas de mármol de diferentes colores y comportamientos de vetas, agrupadas en jabas para que no se lastimen (ver figura 21) se bajan con el factor debido a que no existe un mecanismo para subir, bajar y transportar las placas (polipasto); luego de bajar las placas del contenedor se transportan en un carrito hacia el área de almacenamiento de materia prima (ver figura 22).

Las placas de mármol se colocan en estructuras de metal a una inclinación aproximada de 70° una sobre otra, cada estructura puede soportar unas 10 placas de cada lado, pero debido al espacio reducido, se han colocado hasta más de 20 placas por cada lado.

Figura 21. **Contenedor de placas de mármol**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Ingreso de materia prima**



Fuente: elaboración propia.

Actualmente, la planta no cuenta con un espacio realmente grande para el almacenamiento de la materia prima, por lo que se deben acomodar bien las placas para evitar la acumulación de material. Esto provoca que el desplazamiento del material sea lento y el tráfico de personal sea incómodo, reduciendo los espacios para el proceso de fabricación.

Figura 23. **Almacenamiento materia prima**



Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Área de cuadré y corte

El área de cuadré y corte es una de las áreas más eficientes de toda la planta, se encuentra en un espacio bien distribuido e independiente de las otras áreas. La máquina de corte es una cortadora de puente automática marca Lmg/2501, con una dimensión de corte útil de 3 500 X 3 500 mm (milímetros), con una potencia de 20 HP, utiliza un disco de corte diamantado de 14 pulgadas de diámetro, segmentado con entradas anchas, donde los segmentos se unen al núcleo mediante soldaduras con plata, hecho de acero y bañado con diferentes abrasivos de carburo de silicio y/o óxido de aluminio (ver figura 24).

Tiene como base para cortar, una mesa de madera de 3 000 X 2 500 mm apoyada por una estructura de metal y por debajo una base de concreto, la mesa puede girar 90° para cortes más largos y continuos.

Figura 24. **Máquina de corte**



Fuete: elaboración propia.

Figura 25. **Disco de corte para mármol**



Fuente: elaboración propia.

Se cuenta con un sistema de reutilización del agua, el agua se deposita en un tinaco, baja por mangueras hacia el disco de corte para su función como refrigerante, luego el agua que cae hacia el suelo se dirige hacia unas canaletas que circulan el agua hacia tres fosas que la regresan al tinaco de agua. Actualmente, el área de cuadré y corte no cuenta un espacio específico donde se encuentren depósitos para la recolección del retal de mármol, y todo el desperdicio se encuentra regado por el suelo que provoca accidentes.

Figura 26. **Sistema de reutilización de agua**



Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Área de diseño y tallado

En el área de diseño y tallado se les da la forma, dimensión y moldura a las piezas según las requisiciones del cliente. Los trabajadores utilizan borriquetas de metal y/o madera que comúnmente son llamados burritos, los agrupan en pares y colocan sobre estos, las piezas de mármol ya cortadas a medida para darle el diseño y tallado. Existen tres estaciones de trabajo en donde se realiza la misma operación, debido a que hay tres grupos de trabajo; actualmente, estas estaciones de trabajo se encuentran ubicadas muy cerca una de la otra, lo que provoca así que los trabajadores no laboren libremente con la mayor eficiencia y que los residuos de mármol como lo es el polvo y el retal de mármol se acumulen más en el área sin poder evacuarlos y sin poder tener el área despejada.

Figura 27. **Diseño de las piezas de mármol**



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Tallado de las piezas de mármol**



Fuente: elaboración propia.

2.2.4. Área de armado de las superficies

En esta área, se arman cada una de las piezas que requiere la orden de trabajo para darle forma a la superficie final, se pegan las piezas utilizando pegantes como masilla y silicón, se refuerzan con varillas de hierro para una mejor resistencia. El inconveniente en esta área es que se encuentra paralela al área de diseño y tallado, es decir se trabaja simultáneamente dentro del mismo espacio (ver figura 29) sin un ambiente ideal para la operación, lo que genera mayor acumulación de residuos, deficiencia en el proceso, fatiga al personal por el espacio reducido, incomodidad en la maniobra y traslado de las piezas; y que afecta el proceso de fabricación y la salud del trabajador.

Figura 29. **Área de diseño, tallado y armado de piezas**



Fuente: elaboración propia.

2.2.5. Área de pulido y brillo

El área de pulido y brillo es otro ambiente con mayor eficiencia dentro de la planta de fabricación debido a que se encuentra independiente de las otras áreas, cuenta con tres estaciones de trabajo. Aquí se pulen y se brillan las superficies armadas para darles un acabado final, se utilizan lijas de diferentes grosores añadidas a máquinas pulidoras con ayuda de agua para un mejor contacto con la superficie. El uso de agua al contacto con el polvo que quedo añadido en la superficie provoca que se formen aguas residuales que caen en las canaletas y en las fosas de agua, formando lodos de mármol con el tiempo.

Figura 30. **Pulido y brillo de las piezas de mármol**



Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Lijas para pulir y brillar**



Fuente: elaboración propia.

2.2.6. Área de almacenamiento del producto terminado

Las superficies armadas y terminadas según los requerimientos de los órdenes de trabajo son almacenadas en el área de almacenamiento de producto terminado, listas para planificar la instalación de las superficies en

donde el cliente las desee (viviendas, apartamentos, edificios, etc.). La planta no cuenta con un ambiente correcto para almacenar el producto debido a que los espacios dentro de la planta se encuentran bien reducidos, esto provoca daños al material porque no se protege adecuadamente, incomodidad en el traslado de las piezas de un área hacia otra, mala imagen frente a las visitas de los clientes.

Figura 32. **Almacenamiento del producto terminado**



Fuente: elaboración propia.

Todas estas áreas de trabajo se podrán visualizar mejor en el diagrama de recorrido del proceso de fabricación.

2.3. Condiciones de trabajo

Para efectos de la investigación, se analizarán las condiciones de trabajo de planta de fabricación y su relación con los operarios.

2.3.1. Ventilación

Como se mencionó anteriormente, la planta de fabricación no tiene divisiones en sus áreas, lo cual hace que el aire circule más rápidamente; la planta no cuenta con ventanas frontales ni longitudinales; tiene como única entrada y salida de aire los portones de ingreso lo que provoca que el polvo de mármol se quede en el ambiente de trabajo, sin removerse constantemente.

El aire que se respira debe poseer la calidad necesaria para no afectar la salud humana, el aire del interior debe ser reemplazado por aire fresco del exterior para obtener un balance térmico y reducir la concentración de polvo, humos, gases, vapores o calor generado por los motores. Lo recomendable es que se renueve el aire 3 a 4 veces por hora dentro de los talleres industriales. Debido a que la planta no cuenta con ventilación artificial, debe aprovecharse al máximo la ventilación natural para evitar la fatiga de los operarios y que puedan trabajar eficientemente; ayuda, también, que la maquinaria de corte no genere calor y pueda ser fuente de combustión con algunos insumos como solventes y químicos ubicados en la bodega de materiales e insumos.

2.3.2. Iluminación

La planta de fabricación no cuenta con la suficiente iluminación natural y artificial, se utilizan candelas fluorescentes de 32 watts, pero no llevan un control de la vida útil promedio de las candelas (14 000 horas), debido a que varias lámparas se encuentran con candelas quemadas, lo cual dificulta la visión de los operarios; sumado a esto, las lámparas se encuentran a una altura menor a la correcta que provoca, que la intensidad de luz sea demasiado fuerte.

Las lámparas en la planta no se encuentran distribuidas correctamente; el traslape entre lámparas no es el adecuado; están colocadas a una distancia muy cercana de 1,5 m en cada estación, que provoca fatiga a los operarios, tensión visual y deficiencia en el nivel de iluminación en las estaciones de trabajo. Caso contrario, con las lámparas entre una estación y otra que se encuentran muy separadas a más de 3 m entre una estación y otra que ocasiona que la intensidad de luz para el transporte de material sea muy tenue y dificulte la visión de los operarios. La planta de fabricación cuenta con 14 lámparas, cada lámpara contiene 4 candelas de 32 watts cada una, para un total de 128 watts por lámpara y una potencia total de 1 792 watts por las 14 lámparas. Se calcula el flujo luminoso por todas las lámparas, se podrá determinar la cantidad de luz (iluminancia) que se proyecta por cada metro cuadrado de la planta, de la siguiente manera:

$$\text{Flujo luminoso} = \text{Potencia total} * \text{lúmenes candela}$$

Donde:

- Flujo luminoso: producción total de luz [lumen]
- Potencia total: potencia total 22 lámparas
- Lúmenes candela: cantidad incidente de luz por candela = 75 lumen/watt

Entonces:

- Flujo luminoso = potencia total * lúmenes candela
- Flujo luminoso = (1 792 watts * 75 lumens/watt)
- Flujo luminoso = 134 400 lúmenes

Cabe destacar que los 75 lúmenes/watt es para una candela fluorescente de 32 watts, varían las proporciones de lumen según el tipo de candela y la potencia de cada una. La cantidad de luz (iluminancia), es la siguiente:

$$\text{Iluminancia} = \text{flujo}_{\text{luminoso}} / \text{área}_{\text{planta}} = 1 \text{ lumen/m}^2$$

Donde:

- Iluminancia: cantidad de luz a una distancia dada [lux]
- Flujo luminoso: producción total de luz = 134 400 lúmenes
- Área planta: área total de la planta = 342,30 m²

Entonces:

- Iluminancia = $\text{flujo}_{\text{luminoso}} / \text{área}_{\text{planta}}$
- Iluminancia = 134 400 lúmenes/342,30 m²
- Iluminancia = 392,63 lux

La iluminancia en la planta de fabricación es 392,63 lux (392,63 lúmenes/m²); lo recomendable en áreas de trabajo con actividades de acabados delicados, distinción moderada de detalles, armado e inspección moderada, es trabajar con 500 lux (500 lúmenes/m²) para lo cual se alcanzaría esa iluminancia colocando 18 lámparas: 3 lámparas a lo ancho de la planta con un espaciamiento de 4,36 m y 6 lámparas a lo largo con un espaciamiento de 4,36 metros.

Figura 33. **Iluminación de planta de fabricación**



Fuente: elaboración propia.

2.3.3. Ruido

El ruido se considera una molestia ambiental seria, reduce la calidad de vida y produce riesgos para la salud; niveles de ruido que sobrepasen los 90 dB (decibeles) pueden provocar insomnio, disminución en los índices de productividad, envejecimiento prematuro, hipertensión y sobre todo sordera. Cuando el nivel de ruido sea de 90 dB, el operario no se debe exponer a más de 8 hrs del ruido constante; por cada incremento de 5 dB, el período de exposición se reduce a la mitad, por ejemplo, para 95 dB el periodo de exposición es de 4 hrs (8hrs/2) y así sucesivamente. El nivel máximo permitido es de 115 dB durante 15 min y no se permite exposición por encima de este nivel, niveles bajos de 90 dB se admiten para cualquier duración de tiempo, aunque se recomienda usar equipo de protección auditiva.

Según un estudio de ruido, realizado para la empresa, el nivel de ruido que se genera dentro de la planta de fabricación es 75 dB, es un ruido

intermitente, es decir, varía de niveles; el nivel de ruido dentro de la planta debido a que no es constante no se considera como gravemente dañino, sin embargo, se recomienda siempre protección auditiva, pero si sobrepasa los niveles de ruido permitidos por el tiempo de zonas, según la norma de la OMS (Organización Mundial de la Salud).

Tabla I. **Escala de dB, norma de la OMS**

Tipos de zonas	Lunes – sábado (hrs)		Domingo (hrs)	
	7:00 –21:00	21:00 –7:00	8:00 –19:00	19:00 –8:00
Residencial (dB)	65	55	60	50
Comercial (dB)	75	65	70	65
Industrial (dB)	75	70	75	70
Mixta (dB)	70	60	60	50
Especial (dB)	60	50	55	50

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

La zona donde se localiza la empresa Formas Geométricas, S.A., se clasifica como zona mixta; en una jornada diurna laboral de lunes a sábado, debe emitirse un ruido menor a 70dB, por lo que, en la planta de fabricación, debe utilizarse equipo para la protección auditiva.

2.4. Proceso de fabricación de superficies y acabados

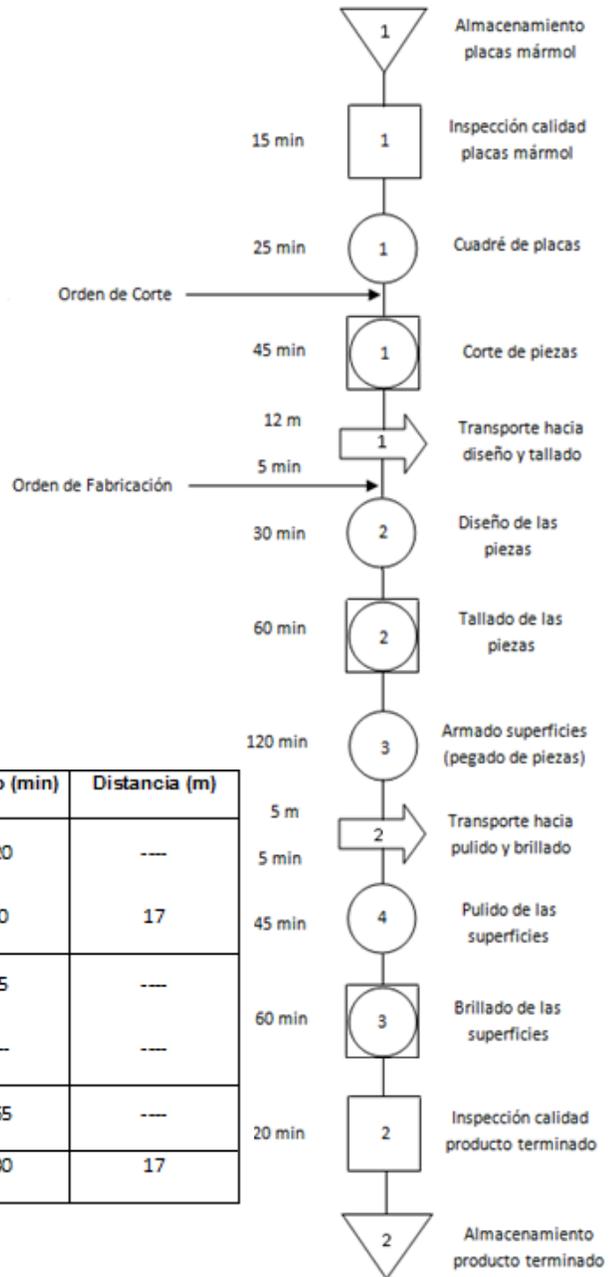
2.4.1. Diagrama de operaciones

Se representa el diagrama de operaciones del proceso de fabricación de superficies y acabados:

Figura 34. Diagrama de operaciones superficies y acabados

Empresa: Formas Geométricas, S.A.
 Producto: superficies de mármol
 Inicia: almacenamiento placas mármol
 Elaborado por: Javier Campos

Proceso: fabricación superficies y acabados
 Hoja: 1/1
 Finaliza: almacenamiento producto terminado
 Fecha: mayo 2015



Actividad	Símbolo	Cantidad	Tiempo (min)	Distancia (m)
Operación	○	4	220	---
Transporte	➡	2	10	17
Inspección	□	2	35	---
Almacenaje	▽	2	---	---
Combinada	◻	3	165	---
Total		13	430	17

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Después de representar el diagrama de operaciones, se describe cada actividad del proceso de fabricación de superficies y acabados de mármol en la empresa Formas Geométricas, S.A., como se ha mencionado anteriormente hay tres estaciones de trabajo que realizan la misma operación de tallado hasta la operación de brillado, por lo que sólo se describirá una estación de trabajo de la siguiente manera:

- Almacenamiento placas mármol: se encuentra almacenada la materia prima, las placas de mármol aserradas (sin forma cuadrada).
- Inspección calidad placas mármol: se dispone a realizar una inspección de la calidad de las placas de mármol, para determinar que placas no tienen desperfectos, como astillones y fisuras para pasar a la operación de cuadré; descartando las placas con desperfectos. Esta inspección lleva alrededor de unos 15 minutos por placa.
- Cuadré de placas: en esta operación se procede a cuadrar las placas que están aserradas, cortando en todo perímetro de la placa para dejar las placas de una forma cuadrada. Con un tiempo aproximado de 25 minutos por placa.
- Corte de las piezas: en esta operación entra en juego la orden de corte, indicando a qué medida se deben cortar todas las piezas que van a formar la superficie de mármol, se manejan unidades en mm (milímetros), además de que tipo de mármol se utilizara (color y comportamiento de vetas). Al mismo tiempo que se cortan las piezas, se inspecciona la medida a la que de ser cortada la pieza según la orden de corte y la calidad de corte, las piezas que no cumplen con estos dos parámetros se retiran y se dispone a cortar nuevamente esas piezas.

Por cada orden de corte, la operación se tarda 45 minutos aproximadamente.

- Transporte hacia diseño y tallado: luego de haber cortado todas las piezas que van a formar la superficie de mármol, se transportan a mano hacia el área de diseño y tallado, ubicado a 12 metros del área de cuadré y corte.
- Diseño de las piezas: en esta operación ingresa la orden de trabajo (orden de fabricación), indicando que diseño y moldura llevan cada una de las piezas, además de indicar que pieza va unida con otra, a qué grupo de trabajo fue asignada y qué tipo de mármol se trabajara. Se dispone a rectificar las medidas de las piezas según la orden de corte con la orden de trabajo, se inspecciona, se marca con cinta adhesiva y se trazan las líneas en donde irán las molduras, curvaturas y desbastes e incluso algunos agujeros. Con un tiempo promedio de 30 min.
- Tallado de las piezas: una vez definidas las especificaciones de la orden de fabricación en las piezas, se procede a tallar todas las piezas, se hace con máquinas pulidoras con discos diamantados de 10 cm de diámetro para los pequeños cortes de las molduras y agujeros, discos de desbaste para las curvaturas y desbastes de las piezas. Además, se fuerzan las piezas con varillas de hierro lisa de $\frac{1}{4}$ " como pernos para mayor resistencia de las piezas en el momento que se arman las superficies. Esta operación lleva un tiempo aproximado de 60 min.
- Armado de superficies (pegado de piezas): se pegan las piezas una con otras según las especificaciones de la orden de fabricación para darle forma a la superficie de mármol final. La operación exige de 120 min

como tiempo promedio, debido a que los pegantes que se utilizan como lo son el silicón y/o masilla, requieren de un tiempo para el secado; y en muchas ocasiones se preparan pegantes del mismo color del mármol para una mejor imagen y calidad.

- Transporte hacia pulido y brillado: las superficies después de haber sido armadas se transportan hacia el área de pulido y brillado, para darles el acabado final, eliminar imperfecciones y darle brillo a toda la superficie. Se trasladan las superficies a mano, a una distancia de 5 metros entre un área y la otra, lo que representa no más de 5 min de tiempo en el proceso de fabricación.
- Pulido de superficies: en esta operación se eliminan imperfecciones producto de los desbastes en las piezas, utilizando las máquinas pulidoras con copas diamantadas de 10 cm de diámetro, que realizan la tarea de eliminar las asperezas y pequeños astillones que se generan en las uniones de las piezas. Pulir las superficies requiere un tiempo aproximado de 45 minutos.
- Brillado de superficies: en esta operación se le da el acabado final a la superficie de mármol, utilizando la máquina pulidora con lijas de diferentes grosores de diámetro de 10 cm. Se inspecciona esta operación dándole un toque de brillo a todo el contorno y área de la superficie, cumpliendo con las especificaciones de la orden de fabricación y las expectativas del cliente. Requiriendo un promedio de tiempo de 60 min.
- Inspección calidad producto terminado: se inspecciona la superficie final, verificando cada especificación de las órdenes de corte y la orden de

fabricación, se revisa el acabado final de cada pieza antes de pasar al área de almacenamiento y empaque del producto terminado. Esta inspección no tarda más de 20 minutos, dando por concluido el proceso de fabricación de superficies y acabados.

- Almacenamiento del producto terminado: se almacena el producto terminado, se cubren las esquinas de cada pieza con cartón y se forran con plástico transparente listo para la venta o instalación donde el cliente lo requiera.

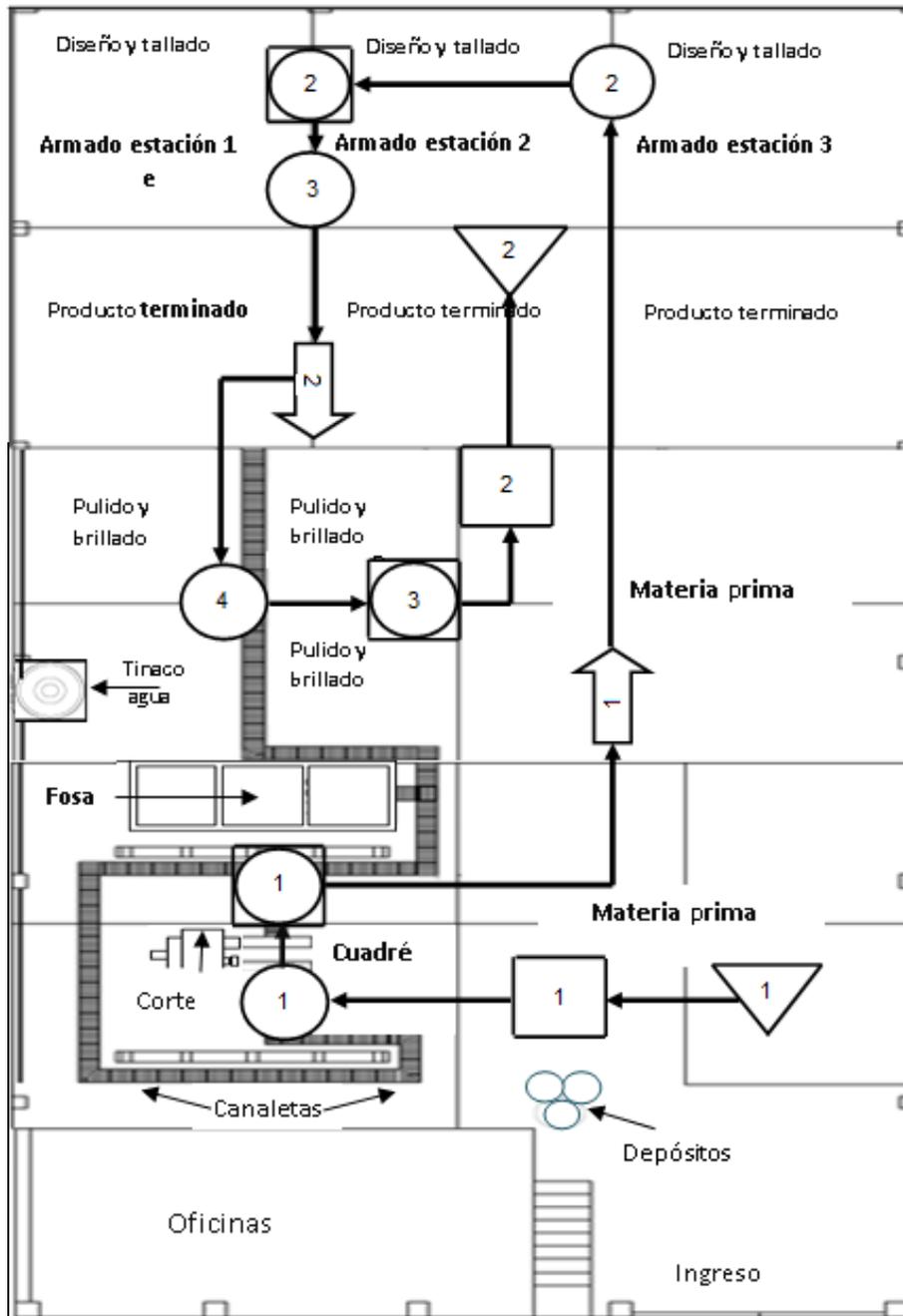
Para el análisis del proceso de fabricación de superficies y acabados de mármol, se tomaron tiempos promedios de una superficie promedio de 12,60 m², utilizando 3 placas para un orden de trabajo promedio (el tipo de fabricación más usual requerido por los clientes), es decir, para una superficie más pequeña pueda que el proceso dure menos, o para una superficie más grande pueda que el proceso dure el doble de tiempo.

En resumen, el proceso contiene 13 actividades, un recorrido de 10 m y un tiempo de 430 minutos equivalente a 7,16 horas (7 horas con 16 minutos) lo que viene siendo un día de trabajo en una jornada laboral diurna.

2.4.2. Diagrama de recorrido

A continuación, se representa el diagrama de recorrido de la planta de fabricación de superficies y acabados de la empresa Formas Geométricas, S.A., donde se realizan las actividades descritas en el diagrama de operaciones.

Figura 35. Diagrama de recorrido



Fuente: elaboración propia utilizando Autocad 2010.

2.4.3. Residuos de mármol

2.4.3.1. Generación de residuos

Los residuos de mármol se generan en el proceso de fabricación de superficies y acabados debido a que no se cuenta con métodos de producción más limpia, no hay maquinaria para la recolección de retal, polvo y lodo de mármol, el personal no está lo suficientemente capacitado para la gestión de los residuos, no se inspecciona la calidad de la materia prima para evitar desperdicio de material, no se mide la problemática de los residuos de mármol y los ambientes de trabajo no están correctamente distribuidos y amplios para evitar la acumulación de los desperdicios de las piezas de mármol.

En las operaciones de cuadro de las placas y corte de las de las piezas, influye el factor de la máquina de corte utilizando agua como refrigerante, teniendo como resultado los residuos de lodo y retal de mármol. Las placas aserradas son cortadas y llevadas a una forma cuadrada, en ese momento el sobrante de la placa cae al suelo, formando fracciones de retal (ver figura 31).

Además, cuando se están cortando las piezas, el polvo que despiden las placas de mármol se mezcla con el agua refrigerante del disco de corte, formando agua residual, que cae en las canaletas conectadas a las fosas de agua y que al final del día cuando se terminan las ordenes de trabajo se forma lodo de mármol por tanto de polvo y retal.

Figura 36. **Generación de retal de mármol y agua residual**



Fuente: elaboración propia.

En la operación de tallado de las piezas, influye el factor de la máquina pulidora se tiene como resultado el polvo y retal de mármol. Cuando se le está dando forma a las piezas (corte y desbaste), se generan fracciones mínimas de polvo y retal por el contacto del disco diamantado con la pieza de mármol. Todo ese polvo circula por el ambiente y luego cae al suelo formando grandes cantidades de polvo, en la figura 39 se puede observar el polvo y el retal en el suelo derivado del tallado de las piezas.

En la operación de pulido de la superficie final, se tiene como factor de entrada la máquina de corte cuando se le está quitando las imperfecciones a la superficie, teniendo como salida el polvo de mármol, mismo que circula por el ambiente hasta caer al suelo que forma grandes cantidades del polvo por toda la planta de fabricación.

Figura 37. **Generación de polvo y retal de mármol**



Fuente: elaboración propia.

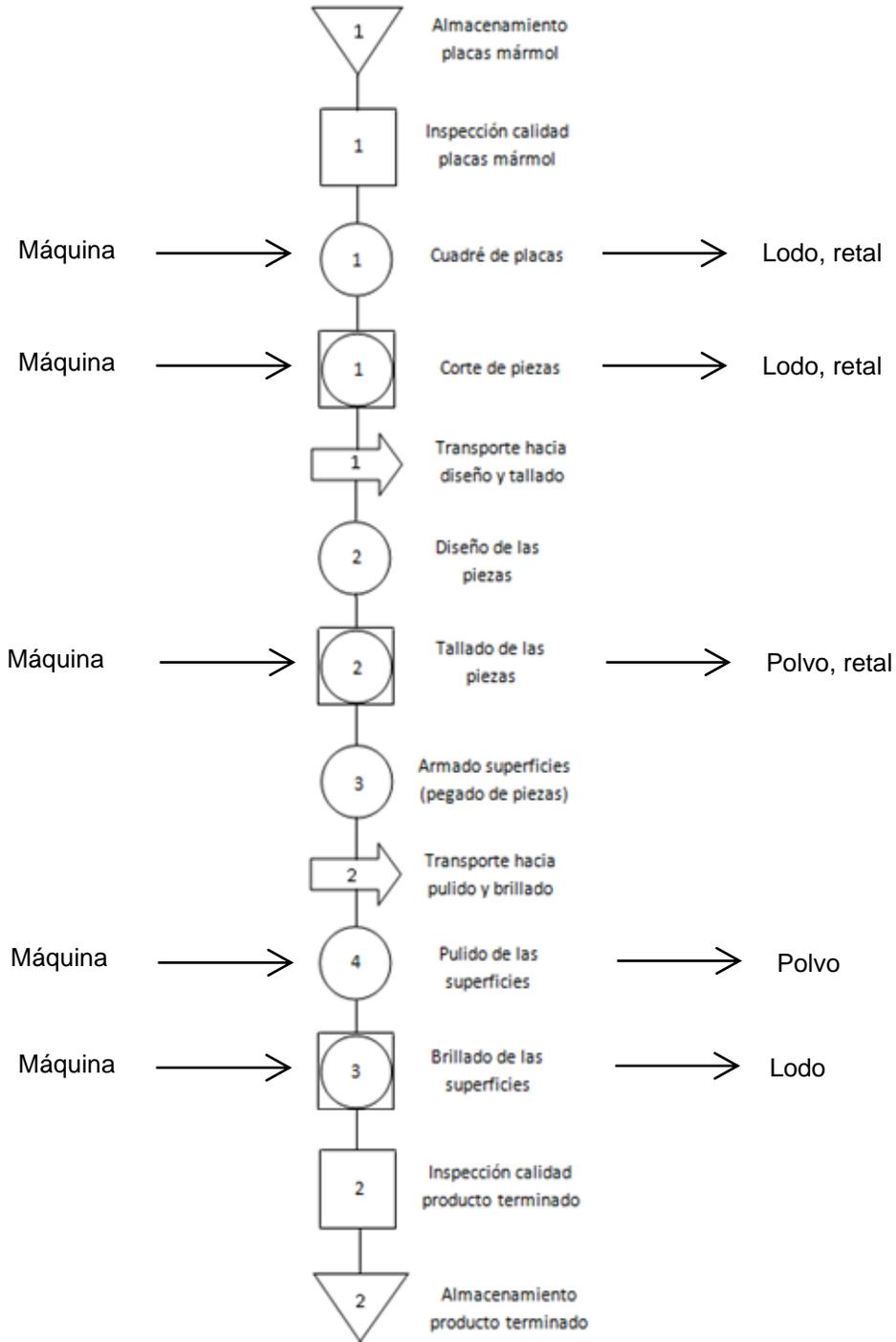
En la operación de brillo de las piezas, se utiliza la máquina pulidora con lijas a base de agua, las fracciones de polvo que quedan en las piezas de mármol son removidas con el agua formando pequeñas cantidades de agua residual que van a las canaletas y fosas formando los lodos de mármol.

Figura 38. **Generación de lodo de mármol**



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Diagrama actividades generación residuos mármol



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

2.4.3.2. Recolección de los residuos

Después de analizar el diagrama de recorrido, en donde se observó todo el proceso de fabricación de superficies y acabados, y en qué área de la planta de fabricación interviene cada operación del proceso; sumado a eso, en el diagrama de generación de residuos de mármol, se observa que residuo se genera en cada operación del proceso. Se dispone a indicar como se recolecta actualmente el residuo de mármol en la planta de fabricación.

La planta de fabricación cuenta con tres depósitos metálicos de polvo y retal que no son los más adecuados al trabajo, estos depósitos tienen dimensiones de 40 cm de diámetro y 30 cm de profundidad y un peso de 7 kg cada uno, estos están ubicados en el área de almacenamiento de materia prima (ver diagrama de recorrido), cerca de la máquina de corte. Actualmente, el polvo y el retal de mármol que se producen en cada área de la planta se recogen por medio de una escoba y una pala, y son transportados en una carreta hacia los depósitos de residuos; este ejercicio se realiza una vez al día.

Se ha mencionado anteriormente cómo funciona la máquina de corte, utilizando agua como refrigerante del disco al momento del corte, agua que se reutiliza y no se desecha, produciendo agua residual. Desde el tinaco el agua baja por mangueras directo al disco de corte, el contacto con el polvo genera el agua residual que cae en las canaletas y se dirige hacia las fosas. Actualmente, la planta cuenta con tres fosas, cada fosa tiene dimensiones de 1 X 1 X 1,5 m donde durante la operación de cuadré y corte; el agua residual se conduce de una fosa a la otra, para subir nuevamente al tinaco de agua; con el pasar de los días y el volumen de trabajo, parte del agua residual que circula por las fosas, se deposita en el fondo de la fosa, que forma lo que comúnmente se llama lodo de mármol.

Figura 40. **Depósitos de polvo y retal de mármol**



Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Fosas de agua**



Fuente: elaboración propia.

El lodo de mármol se recoge de las fosas cada mes que provoca mucha acumulación de lodo, mal olor dentro de la planta y malestares para el personal. El lodo de mármol se recoge con palas y se deposita en costales que luego se almacenan cerca del ingreso para ser llevados a su destino final.

2.4.3.3. Cuantificación de residuos

2.4.3.3.1. Cuantificación de retal de mármol

Para calcular cuánto retal de mármol se genera en la planta de fabricación, es necesario saber las dimensiones de una placa de mármol, una placa estándar aserrada tiene una dimensión aproximada de 2,60 X 1,80 X 0,02 m y una densidad de 2 700 kg/m³. Se dispone a calcular el área y volumen de una placa de mármol de la siguiente manera:

$$A_{\text{placa mármol}} = b_{\text{placa mármol}} \times h_{\text{placa mármol}}$$

Donde:

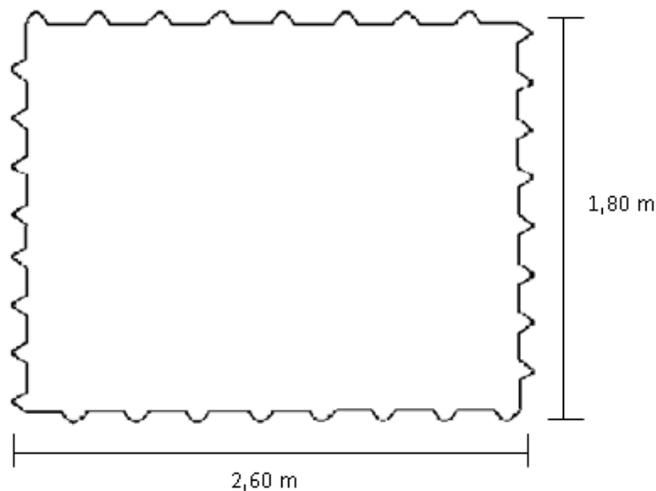
- $A_{\text{placa mármol}}$: área placa mármol
- $b_{\text{placa mármol}}$: base placa mármol
- $h_{\text{placa mármol}}$: altura placa mármol

Entonces:

- $A_{\text{placa mármol}} = (2,60 \times 1,80) \text{ m}$
- $A_{\text{placa mármol}} = 4,68 \text{ m}^2$

Una placa de mármol estándar tiene un área de 4,68 m². Como se ha mencionado anteriormente, las placas aserradas no tienen forma cuadrada, por lo que se estimó un área para efectos de la cuantificación de retal de mármol.

Figura 42. **Área base placa aserrada de mármol**



Fuente: elaboración propia utilizando Autocad 2010.

Para calcular la masa de una placa de mármol, es necesario saber el volumen y densidad de la placa, de la siguiente manera:

$$V_{\text{placa mármol}} = b_{\text{placa mármol}} \times h_{\text{placa mármol}} \times \text{esp}_{\text{placa mármol}}$$

Donde:

- $V_{\text{placa mármol}}$: volumen placa mármol
- $b_{\text{placa mármol}}$: base placa mármol
- $h_{\text{placa mármol}}$: altura placa mármol
- $\text{esp}_{\text{placa mármol}}$: espesor placa mármol

Entonces:

- $V_{\text{placa mármol}} = (2,60 \times 1,80 \times 0,02) \text{ m}$
- $V_{\text{placa mármol}} = 0,09 \text{ m}^3$

Por consiguiente:

$$\rho_{\text{placa mármol}} = m_{\text{p. mármol}} / V_{\text{p. mármol}} \rightarrow m_{\text{p. mármol}} = \rho_{\text{p. mármol}} * V_{\text{p. mármol}}$$

Donde:

- $\rho_{\text{placa mármol}}$: densidad placa mármol
- $m_{\text{placa mármol}}$: masa placa mármol
- $V_{\text{placa mármol}}$: volumen placa mármol

Entonces:

- $m_{\text{p. mármol}} = \rho_{\text{p. mármol}} * V_{\text{p. mármol}}$
- $m_{\text{placa mármol}} = (2\,700 \text{ kg} / \text{m}^3) \times (0,09\text{m}^3)$
- $m_{\text{placa mármol}} = 243 \text{ kg}$

Por consiguiente, cada placa de mármol tiene una masa de 243 kg. No existe un dato o un historial de cuanto desperdicio o retal de mármol se genera por cada placa de mármol, pero se estimó un porcentaje de retal generado en las operaciones de cuadré, corte y tallado, con ayuda del supervisor de planta y gerencia, representado a continuación:

Tabla II. **Estimación porcentaje de retal por placa de mármol**

Operación	Porcentaje (%)
Cuadré	5,0
Corte	4,0
Tallado	1,0
Total	10

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Se estima que un 10 % del total de la placa se desperdicia y genera retal de mármol; cabe destacar que hay diferentes mármoles y algunos pueden variar en el porcentaje de retal debido a que todos tienen diferentes características (resistencia, densidad, porosidad, etc.).

Considerando una placa de mármol estándar con área de 4,68 m², volumen de 0,09 m³ y masa de 243 kg, se dispone a calcular la cantidad de retal de mármol por placa y el área útil de mármol con la que obtiene el producto final:

$$\text{Retal placa mármol} = m_{\text{placa mármol}} * \% \text{ desperdicio}$$

Donde:

- Retal placa mármol: retal placa mármol
- $m_{\text{placa mármol}}$: masa placa mármol
- % desperdicio: porcentaje desperdicio = 10 % → 0,10

Entonces:

- $\text{Retal placa mármol} = (243 \text{ kg}) * (0,10)$
- $\text{Retal placa mármol} = 24,3 \text{ kg}$

Por cada placa, se desperdicia 24,3 kg que se convierten en retal de mármol, por lo que el área de materia prima útil en el proceso de fabricación es el siguiente:

$$A_{M. P. \text{ útil}} = A_{p. \text{ mármol}} - \text{desperdicio}$$

Donde:

- $A_{M. P. \text{ útil}}$: área materia prima útil
- $A_{p. \text{ mármol}}$: área placa mármol
- Desperdicio: desperdicio estimado

Entonces:

- $A_{M. P. \text{ útil}} = A_{p. \text{ mármol}} - \text{desperdicio}$
- $A_{M. P. \text{ útil}} = [4,68 - (4,68 * 0,10)] \text{ m}^2 / \text{placa}$
- $A_{M. P. \text{ útil}} = 4,21 \text{ m}^2 / \text{placa}$

Se dispone de un área útil de 4,21 m² para trabajar en el proceso de fabricación, estimando que un 10 % del total de la placa se desperdicia. Para estimar el retal de mármol generado al día, habrá que determinar cuántas órdenes de fabricación se realizan al día y cuantas placas de mármol se necesitan en cada orden de corte. Y para obtener un dato más aproximado se deberá hacer una comparación de la estimación del retal de mármol por el total de placas al día con el dato del retal de mármol recogido en los depósitos de residuo al día.

2.4.3.3.2. Cuantificación polvo de mármol

Debido a que no existe un sistema de recolección de polvo, es muy difícil determinar cuánto polvo se genera en cada operación del proceso de fabricación. Por lo que se dispone a realizar un cálculo del polvo generado al día durante la semana hábil de labores del 25 al 29 de mayo, además, de cuántas placas de mármol se utilizaron al día, para estimar cuanto polvo puede generar una placa de mármol al día.

Tabla III. Promedio polvo de mármol generado al día

	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Total	Promedio
Polvo (kg)	43	31	49	34	40	197	39,29
Placa (u)	7,0	5,5	8,0	6,0	7,0	33	6,6

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Se estima, entonces, que al día se recolecta un total de 39,29 kg de polvo de mármol en promedio y se utilizan 6,6 placas al día. Es importante señalar que estos valores pueden variar debido a los tipos de mármoles que se utilicen por sus características y al número de placas que se utilicen según las órdenes de fabricación al día.

Del total del polvo recolectado al día según experiencia del supervisor de planta y de gerencia, se estima que un 15 % del polvo se pierde, ya sea que se adhiera a las paredes de la planta, se quede en las máquinas de corte y desbastado, se mezcle con el agua y genere lodo o se dirija hacia el medio ambiente.

Se dispone a calcular el total de polvo generado al día, tomando en cuenta el porcentaje de pérdida de polvo:

$$\text{Polvo total estimado} = \text{polvo promedio recolectado} / \text{día} * (\% \text{ pérdida polvo} + 1)$$

Donde:

- Polvo promedio recolectado = 39,29 kg / día
- % pérdida polvo: porcentaje perdida polvo = 15 % → 0,15

Entonces:

- Polvo total estimado = polvo promedio recolectado / día * (% pérdida polvo + 1)
- Polvo total estimado = 39,29 kg / día * (0,15 + 1)
- Polvo total estimado = 45,18 kg / día

Se determina que el polvo total generado al día es de 45,18 kg por cada 6,6 placas, por lo que cada placa de mármol desde que inicia el proceso de fabricación va a generar un estimado de 6,85 kg (45,18 kg / 6,6).

2.4.3.3.3. Cuantificación lodo de mármol

Como en el caso de la recolección de polvo, no existe un sistema de recolección de lodo de mármol, por lo tanto, se hará un cálculo aproximado de cuanto se genera de lodo al mes. Se estima que el 30 % del volumen de cada fosa de agua residual está formado de lodo de mármol.

Las fosas tienen una dimensión de 1 X 1 X 1,5 m, es decir, cada fosa tiene un volumen de 1,5 m³ por consiguiente es capaz de almacenar 1,5 m³ de agua residual. Para calcular la masa del agua residual es necesario saber su densidad, según estudios de tratamientos de aguas residuales en la industria de mármol, se considera la densidad del agua residual como 1 000 kg/m³. Con este dato se dispone a calcular la masa del agua residual de la siguiente manera:

$$\rho_{\text{agua residual}} = m_{\text{a. residual}} / V_{\text{a. residual}} \rightarrow m_{\text{agua residual}} = \rho_{\text{a. residual}} * V_{\text{a. residual}}$$

Donde:

- $\rho_{\text{agua residual}}$: densidad agua residual = 1 000 kg/m³
- $m_{\text{agua residual}}$: masa agua residual
- $V_{\text{agua residual}}$: volumen agua residual = 1,5 m³

Entonces:

- $m_{\text{agua residual}} = \rho_{\text{a. residual}} * V_{\text{a. residual}}$
- $m_{\text{agua residual}} = (1\ 000\ \text{kg/m}^3) * (1,5\ \text{m}^3)$
- $m_{\text{agua residual}} = 1\ 500\ \text{kg/fosa}$

Cada fosa puede almacenar 1 500 kg de agua residual, de los 1 500 kg solo el 70 % está formado por agua residual y el 30 % restante está formado por lodo de mármol. La densidad del lodo de mármol por ser un fluido está comprendida entre 1 000 kg/m³ y 2 000 kg/m³, siendo el valor más bajo cuando el volumen de sólidos en la mezcla fluida es inferior al 20 % del total, el valor más alto cuando esa relación sea superior al 80 %; se dará un valor aproximado de 1 200 kg/m³ para la densidad del lodo de mármol.

Se dispone a calcular la cantidad de lodo en cada fosa:

$$\rho_{\text{lodo}} = m_{\text{lodo}} / V_{\text{lodo}} \rightarrow m_{\text{lodo}} = \rho_{\text{lodo}} * V_{\text{lodo}}$$

Donde:

- ρ_{lodo} : densidad lodo = 1 200 kg/m³
- m_{lodo} : masa de lodo
- V_{lodo} : volumen lodo = $V_{\text{total fosa}} - V_{\text{agua residual}}$

Entonces:

- $m_{\text{lodo}} = \rho_{\text{lodo}} * V_{\text{lodo}}$
- $m_{\text{lodo}} = (1\ 200\ \text{kg/m}^3) * (1,5 * 0,30)\ \text{m}^3$
- $m_{\text{lodo}} = (1\ 200\ \text{kg/m}^3) * (0,45\ \text{m}^3)$
- $m_{\text{lodo}} = 540\ \text{kg}$

La cantidad de lodo de mármol que se encuentra en cada fosa es de 540 kg, es decir, por las tres fosas, se cuantifica 1 620 kg de lodo al mes (3 * 540 kg). Se hace mención que este valor, es un dato estimado, para tener un dato más real se deberá sacar todo el lodo de cada fosa y pesarlo para cuantificarlo.

2.4.3.4. Destino final

Al iniciar las labores diarias, el encargado de servicios generales transporta los depósitos que contienen polvo y retal de mármol recolectado un día antes, hacia el camión recolector de basura que transporta todo el desperdicio hacia el basurero más cercano, lo que afecta al medio ambiente,

debido a que el tiempo de descomposición del desperdicio de mármol lleva años para realizarse.

Como se mencionó antes, el lodo de mármol se recolecta cada mes, se utilizan costales hechos de plástico polipropileno tejidos en forma de red para una mayor resistencia; se levantan las tapaderas de cada fosa, se vacían, logrando que quede solo el lodo en el fondo de la cada fosa y se recoge con palas y cubetas para ser depositado en los costales; al finalizar la actividad, los costales son almacenados en las cercanías del parqueo de la planta durante una semana, para que el lodo seque y sea llevado por el camión recolector de basura y los deposite en algún basurero cercano que provoca así contaminación en el medio ambiente.

2.5. Medición del trabajo

2.5.1. Calificación y desempeño de los operarios

Para calificar el desempeño de los trabajadores, es necesario medir el tiempo medio que realizan cada actividad en el proceso de fabricación y darle un factor de calificación, basadas en la eficiencia para realizar su trabajo (habilidad), la voluntad para trabajar (esfuerzo), las condiciones de trabajo que afectan al operario (condiciones) y los valores de tiempo que realiza el operario constante en su trabajo (consistencia).

Dichos factores se determinan a través de las siguientes especificaciones:

Tabla IV. **Factores de calificación por habilidad**

Notación	Calificación	Porcentaje
A	Habilísimo	0,15
B	Excelente	0,1
C	Bueno	0,05
D	Medio	0
E	Regular	-0,05
F	Mano	-0,1
G	Deficiente	-0,15

Fuente: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo: ingeniería de métodos y medición del trabajo*. p. 442.

Tabla V. **Factores de calificación por esfuerzo**

Notación	Calificación	Porcentaje
A	Excesivo	0,15
B	Excelente	0,1
C	Bueno	0,05
D	Medio	0
E	Regular	-0,05
F	Mano	-0,1
G	Deficiente	-0,15

Fuente: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo: ingeniería de métodos y medición del trabajo*. p. 442.

Tabla VI. **Factores de calificación por condiciones**

Notación	Calificación	Porcentaje
A	Buena	0,05
B	Media	0
C	Mala	-0,05

Fuente: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo: ingeniería de métodos y medición del trabajo*. p. 442.

Tabla VII. **Factores de calificación por consistencia**

Notación	Calificación	Porcentaje
A	Buena	0,05
B	Media	0
C	Mala	-0,05

Fuente: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo: ingeniería de métodos y medición del trabajo*. p. 442.

Un trabajador normal es un operario competente y altamente experimentado, que trabaja en las condiciones que prevalecen normalmente en las estaciones de trabajo. Para calcular el tiempo normal de cada operación en el proceso de fabricación, se tomaron 5 observaciones en una semana, en una estación de trabajo, siendo los tiempos medios los siguientes:

Tabla VIII. **Tiempos medios en el proceso de fabricación**

Operación	Ciclos					Total	T. medio (min)
	1	2	3	4	5		
Inspección M.P.	10,5	11,4	17,9	18,6	18,7	77,1	15,42
Cuadré	24,3	20,5	26,0	23,8	30,1	124,7	24,94
Corte	40,3	45,3	42,8	53,6	46,0	228,0	45,60
Diseño	20,0	28,5	31,5	36,4	30,9	147,3	29,46
Tallado	56,6	50,3	65,8	59,7	67,3	298,4	59,94
Armado	105,4	118,9	125,7	130,5	120,5	601,0	120,2
Pulido	38,5	52,5	50,1	33,6	48,3	223,0	44,60
Brillado	64,0	55,4	57,9	64,3	60,0	301,6	60,32
Inspección P.T.	25,4	15,8	20,6	23,5	17,0	102,3	20,46
					Total	2 103	420,9

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Al terminar el periodo de las observaciones, se tiene un tiempo medio de 420,9 min del proceso de fabricación; cabe destacar que no se tomaron en cuenta los tiempos medios de transporte del área de diseño hacia tallado y del área del pulido hacia brillado para efectos del factor de calificación de los operarios.

Se dispone a definir los factores de calificación para los tiempos medios, determinando que el operario es bueno, asignándole una calificación de habilidad de +0,05 según la tabla de calificación por habilidad; una calificación de esfuerzo de +0,10 por tener excelente voluntad, según tabla; una calificación de -0,05 por trabajar en condiciones malas, según tabla; calificando de último una consistencia buena en su trabajo de +0,05, según tabla se calcula el factor de calificación de la siguiente manera:

$$\text{Factor}_{\text{calif.}} = 100 \% - (\text{Calif.}_{\text{hab.}} + \text{Calif.}_{\text{esf.}} + \text{Calif.}_{\text{cond.}} + \text{Calif.}_{\text{cons.}})$$

Donde:

- Factor_{calif.}: factor calificación del proceso
- Calif._{hab.}: calificación habilidad = +0,05
- Calif._{esf.}: calificación esfuerzo = +0,10
- Calif._{cond.}: calificación condiciones = -0,05
- Calif._{cons.}: calificación consistencia = +0,05

Entonces:

- Factor_{calif.} = 100 % - (0,05 + 0,10 - 0,05 + 0,05)
- Factor_{calif.} = 1 - 0,15
- Factor_{calif.} = 0,85

Tras obtener el factor de calificación, se aplica al tiempo medio del proceso de fabricación de la siguiente manera:

$$T. N. = T. M. O. * \text{factor}_{\text{calif.}}$$

Donde:

- T. N.: tiempo normal del proceso
- T. M.O.: tiempo medio observado del proceso = 420,90 min
- Factor_{calif.}: factor calificación = 0,85

Entonces:

- $T. N. = T. M.O. * \text{factor calif}$
- $T. N. = 420,90 \text{ min} * 0,85$
- $T. N. = 357,77 \text{ min} \rightarrow 357,8 \text{ min}$

El tiempo normal para el proceso de fabricación, obtenido por un operario con buena habilidad, con excelente voluntad, trabajando en malas condiciones y con buena consistencia en su trabajo es de 357,8 min.

2.5.2. Duración del ciclo de fabricación

Para calcular el ciclo total de fabricación de superficies y acabados de mármol, se tomará como base el pedido más usual que requieren los clientes, que es una superficie para una cocina de 12,60 m². Se tomarán tiempos medios descritos en el diagrama de operaciones, tiempos normales con un porcentaje de calificación de actuación de los operarios descritos anteriormente y un tiempo estándar por algunos suplementos de retrasos personales, retrasos por fatiga o retrasos especiales por el tipo de trabajo.

Se dispone a indicar los valores de suplementos por los retrasos personales, retrasos por fatiga y los retrasos especiales; el operario a estudiar es hombre por lo que se tomarán los valores de suplementos de la columna tolerancia (%) hombre, la iluminación está por debajo de lo adecuado, existen demoras para dar instrucciones de parte de los supervisores hacia los operarios y demoras por fallas de máquinas y equipos.

Tabla IX. **Valores de suplementos**

Suplemento	Tolerancia (%)	
	Hombre	Mujer
Retrasos personales		
Necesidades fisiológicas	5	7
Retrasos por fatiga		
Necesidades básicas por fatiga	3-4	3-4
Trabajar de pie	2	4
Trabajar sentado	4	6
Nivel de iluminación	2;5	2;5
Tensión visual	2;5	2;5
Tensión auditiva	2;5	2;5
Tensión mental	1-8	1-8
Monotonía mental	0-4	0-4
Monotonía física	0-5	0-5
Tedio	0;2,5	0;2,5
Trabajos ligeros	8-15	8-15
Trabajos medianos a pesados	12-40	12-40
Retrasos especiales		
Demoras por dar o recibir instrucciones	1-5	1-5
Demoras por inspección de material	1-5	1-5
Demoras por fallas máquinas o equipos	1-5	1-5
Demoras por falta material, energía	1-5	1-5

Fuente: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo: ingeniería de métodos y medición del trabajo*. p. 442.

De la tabla VIII de los tiempos medios de fabricación, se obtendrá una tabla resumen, para luego aplicarle los valores de suplementos para calcular el tiempo estándar de la duración del ciclo de fabricación de superficies y acabados:

Tabla X. **Tiempos normales del proceso de fabricación**

Operación	T. Medio (min)	T. Normal (min)
Inspección M.P.	15,42	13,11
Cuadré	24,94	21,20
Corte	45,60	38,76
Diseño	29,46	25,04
Tallado	59,94	50,95
Armado	120,2	102,2
Pulido	44,60	37,91
Brillado	60,32	51,27
Inspección P.T.	20,46	17,39
Total	420,9	357,8

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Para efectos de la investigación, se tomará un valor de suplementos por retrasos personales para un operario de 5 %, retraso básico por fatiga de 4 %, un suplemento de 2 % por trabajar de pie, 5 % por trabajar con un nivel de iluminación muy deficiente de lo normal, un valor de 3 % por demoras de recibir instrucciones e inspección cada una y un valor de suplemento de 2 % por demoras por fallas de las máquinas pulidoras o cambio de disco de corte. La sumatoria de todos los valores de suplementos nos da un valor de 21 %.

Se determina el tiempo estándar del proceso de fabricación:

$$T. E. = T. N. (1 + \text{Tolerancias})$$

Donde:

- T. E.: tiempo estándar
- T. N.: tiempo normal = 357,8 min
- Tolerancias: sumatoria de valores de suplementos = 21 % \rightarrow 0,21

Entonces:

- T. E. = T. N. (1 + Tolerancias)
- T. E. = 357,8 (1 + 0,21)
- T. E. = 357,8 (1,21)
- T. E. = 432,93 min

El tiempo estándar del proceso de fabricación es de 432,93 min, es decir, se estiman 12 min más del tiempo medio observado (420 min), por cualquier retraso personal, por fatiga, por las condiciones de trabajo y/o por demoras de trabajo.

3. PROPUESTA PARA DISEÑAR EL PLAN DE INVESTIGACIÓN

3.1. Gestión de los residuos de mármol

Formas Geométricas, S.A., es una empresa que se dedica a la fabricación de superficies y acabados en mármol, granito y cuarzo; debido al gran aporte que tiene el polvo de mármol como subproducto de materiales de construcción, delimitaremos la propuesta de investigación en el polvo de mármol, para lo cual se tomarán muestras de retal de mármol, para posteriormente ser triturado, investigando las formas de realizarlo, como aplicarlo para la fabricación de pisos de mármol artificial y otras aplicaciones.

Es importante mencionar, que no se puede utilizar el polvo generado en las operaciones de tallado y pulido de las superficies, debido a que la mayor parte del polvo se pierde en el ambiente, cae al suelo y/o adhiere a la maquinaria y equipo, produciendo así que se mezcle con agua, tierra o en muchas ocasiones se mezcle con el polvo de granito y cuarzo; para lo cual no serviría como subproducto para fabricar los pisos de mármol artificial.

3.1.1. Encuestas al personal involucrado

El personal operativo y administrativo, lo que comúnmente se denomina mano de obra, es un recurso muy importante en toda organización, no solo es el esfuerzo o actividad humana, sino que también es el factor de conocimiento, experiencia, habilidades, aptitudes, actitudes, potencialidades que llevan al cumplimiento de objetivos y metas de la empresa. Por lo que una empresa con

una buena cultura organización fomenta la motivación en su personal, haciéndoles saber que su opinión cuenta en el mejoramiento continuo de la empresa.

Como herramienta para seleccionar las mejores ideas para la gestión del residuo de mármol, se propone realizar una encuesta al personal operativo sobre su experiencia en el proceso de fabricación y al personal administrativo sobre su conocimiento en el tema de gestión de residuos de mármol, analizando como consideran ellos que pueden recolectarse, reciclarse y reutilizarse los residuos de mármol, cuál es su opinión acerca del tema a investigar y como les afecta en su labor diaria. Para el análisis de todos estos datos, se llevará a cabo el siguiente formato de encuesta:

Figura 43. **Formato de encuesta gestión de residuos de mármol**

Encuesta: gestión de residuos de mármol

A. Datos del personal

Nombre Completo: _____

Edad: _____ Sexo: Masculino Femenino

Cargo: _____ Departamento: _____

B. Conocimiento del tema

¿Tiene conocimiento sobre el tema de gestión de residuos? Sí No

¿Tiene conocimiento sobre el tema de producción más limpia? Sí No

¿Tiene conocimiento sobre los efectos que producen los residuos de mármol?
Sí No

Continuación de la figura 43.

C. Generación de residuos de mármol

¿Qué residuos de mármol conoce? Polvo Lodo Retal

¿Según su experiencia y/o conocimiento, que residuo de mármol considera que se genera más en el proceso de fabricación?

Polvo Lodo Retal

¿Según su experiencia y/o conocimiento, en que operación del proceso de fabricación se genera más residuo de mármol?

Cuadré Corte Diseño Tallado

Armado Pulido Brillado

¿Según su experiencia y/o conocimiento, en que área de la planta de fabricación se genera más residuo de mármol?

Área de cuadré y corte Área de diseño y tallado

Área de armado Área pulido y brillado

D. Efectos producidos por los residuos de mármol

¿De qué manera le afecta a usted la generación de residuos de mármol?

Alergia en los ojos Problemas respiratorios

Fatiga Reducción de espacios

Retrasos en sus tareas Bajo rendimiento

Dificultad de transporte Otros: _____

¿Qué aspectos cree usted que afectan más la generación de residuos de mármol?

Continuación de la figura 43.

Medio ambiente Salud del trabajador
Deficiencia en el trabajador Deficiencia en el proceso
Gastos de administración Mala imagen de la empresa
Otros: _____

E. Cuantificación, recolección y disposición final de los residuos de mármol

¿Según su experiencia y/o conocimiento, cuantos kilogramos estima que se genera al mes de cada residuo de mármol?

Polvo: 800 kg <input type="checkbox"/>	Lodo: 1 200 kg <input type="checkbox"/>	Retal: 4 000 kg <input type="checkbox"/>
1 000 kg <input type="checkbox"/>	1 500 kg <input type="checkbox"/>	4 500 kg <input type="checkbox"/>
1 200 kg <input type="checkbox"/>	1 800 kg <input type="checkbox"/>	5 000 kg <input type="checkbox"/>
Otro: _____	Otro: _____	Otro: _____

¿Cómo considera usted la mejor manera de recolectar los residuos de mármol?

Depósitos de residuos Sistemas de recolección de residuo
Contratar un servicio de recolección Otros: _____

¿Cuál cree usted, que debería ser la disposición final de los residuos de mármol?

Almacenamiento temporal en la planta de fabricación
Depositarlos fuera de la planta de fabricación
Depositarlos en los basureros municipales
Reciclarlos para reutilizarlos y sacarles provecho

Continuación de la figura 43.

F. Reciclaje de los residuos de mármol

¿Qué residuo de mármol considera usted que puede reciclarse más fácilmente?

Polvo Lodo Retal

¿Qué utilidades considera usted que se puede obtener de reciclar los residuos de mármol?

Usos artesanales Recubrimiento de paredes

Recubrimiento de pisos Fabricación de piezas artificiales

Aditivos para suelos Fabricación materiales construcción

Otros: _____

¿Cree usted que es importante fomentar la gestión de residuos en toda empresa?

Sí No

¿Estaría dispuesto a colaborar en el diseño del plan de investigación para la gestión de residuos de mármol?

Sí No

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Word 2013.

3.1.2. Análisis de los datos

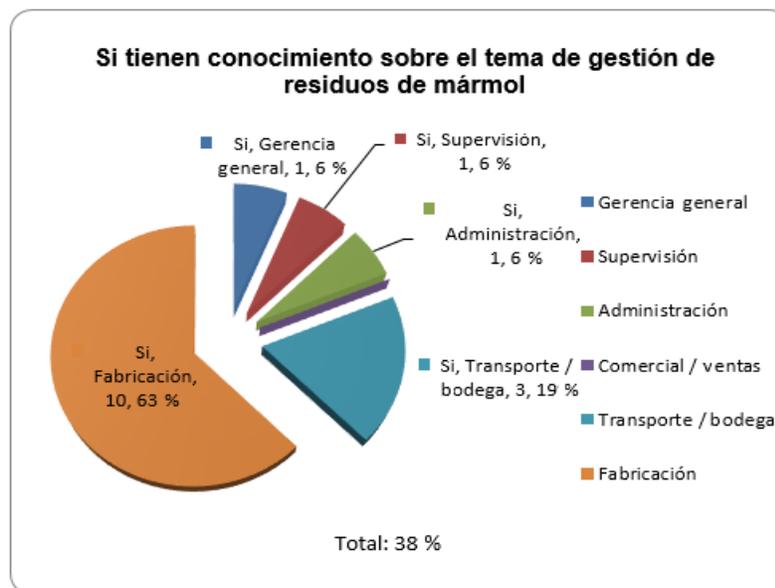
Definido el formato de encuesta sobre la gestión de residuos de mármol, se dispone a analizar los resultados obtenidos, mediante tablas y gráficas para una mejor visualización y entendimiento.

Tabla XI. **Análisis de datos sobre el conocimiento del tema a investigar**

Departamento	Personal	Gestión		Producción		Efectos	
		Sí	No	Sí	No	Sí	No
Gerencia general	1	1	-	1	-	1	-
Supervisión	3	1	2	1	2	3	-
Administración	3	1	2	1	2	2	1
Comercial/ventas	2	-	2	-	2	-	2
Transporte/bodega	3	3	-	1	2	3	-
Fabricación	30	10	20	2	28	28	2
Total	42	16	26	6	36	37	5
	100 %	38 %	62 %	14 %	86 %	88 %	12 %

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Figura 44. **Gráfica conocimiento gestión de residuos de mármol**



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Ante la interrogante, de que, si el personal tiene conocimiento sobre el tema de gestión de residuos, un 38 % si tiene conocimiento sobre el tema, mientras que el 62 % restante no tiene un conocimiento amplio.

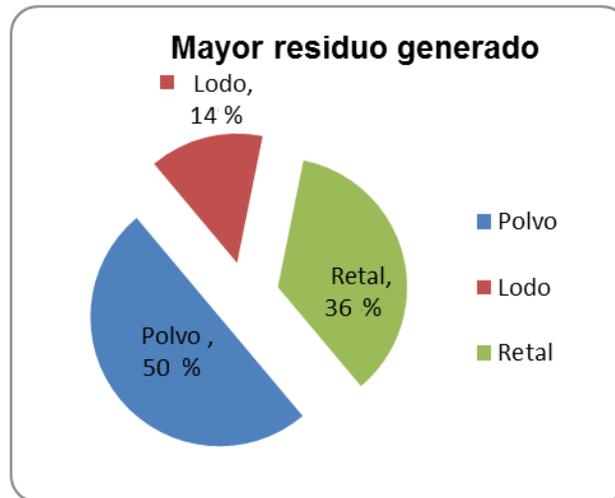
Tabla XII. **Análisis de datos sobre los residuos más conocidos y el mayor residuo generado**

Departamento	Residuos más conocidos				Residuos más conocidos			
	Polvo	Lodo	Retal	Total	Polvo	Lodo	Retal	Total
Gerencia general	1	1	1	3	1	-	-	1
Supervisión	3	1	3	7	1	-	2	3
Administración	3	-	-	3	2	1	-	3
Comercial / ventas	2	-	-	2	2	-	-	2
Transporte / bodega	3	1	2	6	3	-	-	3
Fabricación	30	8	14	52	12	5	13	30
Total	42	11	20	73	21	6	15	42
	58 %	15 %	27 %	100 %	50 %	14 %	36 %	100 %

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Del total del personal administrativo y operativo, el 58 % tiene mayor conocimiento sobre el polvo, como residuo de mármol; el 15 % dice que es el lodo el residuo que ellos más conocen, mientras que un 27 % conoce el retal de mármol. Del total de personal, consideran que el mayor residuo generado en el proceso de fabricación según su conocimiento y experiencia, es el polvo obteniendo un 50 % del total de los datos, seguido del residuo de retal de mármol con 36 %, quedando de las encuestas el lodo de mármol con 14 %.

Figura 45. **Gráfica de mayor residuo generado en el proceso de fabricación**



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Tabla XIII. **Análisis de datos sobre la operación que genera mayor residuo**

Operación que genera mayor residuo de mármol

Departamento	Cuadré	Corte	Diseño	Tallado	Armado	Pulido	Brillado
Gerencia general	1	1	-	1	-	-	1
Supervisión	3	2	-	2	-	-	3
Administración	-	3	-	-	1	1	-
Comercial / ventas	1	2	-	2	-	-	1
Transporte bodega /	3	3	-	-	-	2	3
Fabricación	30	20	-	8	-	5	10
Total	38	31	0	13	1	8	18
	35 %	28 %	0 %	12 %	1 %	7 %	17 %

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Luego del análisis de los datos obtenidos, respecto a que operación del proceso de fabricación genera mayor residuo de mármol, se determinaron las 4 operaciones que mayor residuo generan; siendo las operaciones de corte y cuadré con 35 % y 28 % respectivamente, estas operaciones generan la mayor parte de retal de mármol, la operación de brillado con 17 % de los datos obtenidos generando la mayor parte de lodo de mármol y la operación de tallado con un 12 % que genera la mayor parte de polvo en el proceso de fabricación.

Por consiguiente, el área donde mayor residuo se genera, es el área de cuadré y corte, que generan más del 80 % del total de retal de mármol (20 % restante se genera en la operación de tallado), estas operaciones también generan más del 60 % del total de lodo de mármol (40 % restante se genera en la operación de brillado); a continuación, se presenta una gráfica de los datos analizados:

Figura 46. **Gráfica de la operación que mayor residuo genera en el proceso de fabricación**



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Tabla XIV. **Análisis de datos sobre efectos producidos a la salud del trabajador por los residuos de mármol**

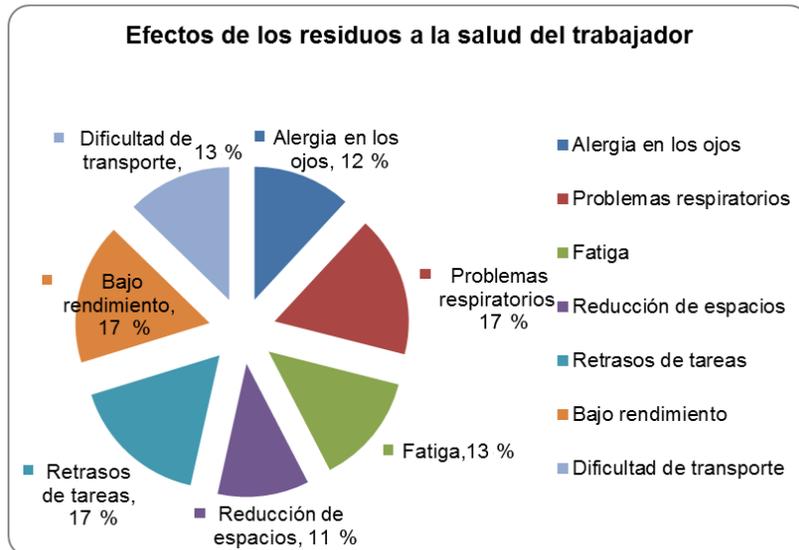
Cómo afecta los residuos de mármol la salud del trabajador

Alergia	Respiración	Fatiga	Espacios	Retrasos	Rendimiento	Transporte
1	1	1	1	1	1	1
1	3	3	2	3	3	1
1	3	2	1	2	3	-
-	2	1	-	2	2	1
3	3	1	1	3	3	2
23	30	25	22	30	30	26
29	42	33	27	41	42	31
12 %	17 %	13 %	11 %	17 %	17 %	13 %

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Analizando los datos obtenidos en la encuesta, sobre qué efectos producen los residuos de mármol a la salud del trabajador, el personal administrativo y operativo determinan que los efectos descritos afectan de igual manera a la salud, en similares porcentajes; representados de la siguiente manera: el 12 % considera que los residuos de mármol producen alergia en los ojos; el 17 % determina que los trabajadores expresan problemas respiratorios; un 13 % describe que se ve afectado con constante fatiga, se reducen los espacios en un 11 %; los retrasos en las ordenes de trabajo y el bajo rendimiento se afectado en un 17 %, respectivamente; mientras que el 13 % del personal considera que se ve afectado por los residuos de mármol en la dificultad para transportarse de un área a otra. Además de los efectos producidos a la salud del trabajador, el personal determino que hay otros aspectos que se ven afectados por los residuos de mármol: el medio ambiente, deficiencias en el proceso, gastos de administración, mala imagen de la empresa frente al cliente y la competencia, entre los aspectos más importantes.

Figura 47. **Gráfica de efectos producidos por los residuos de mármol a la salud del trabajador**



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

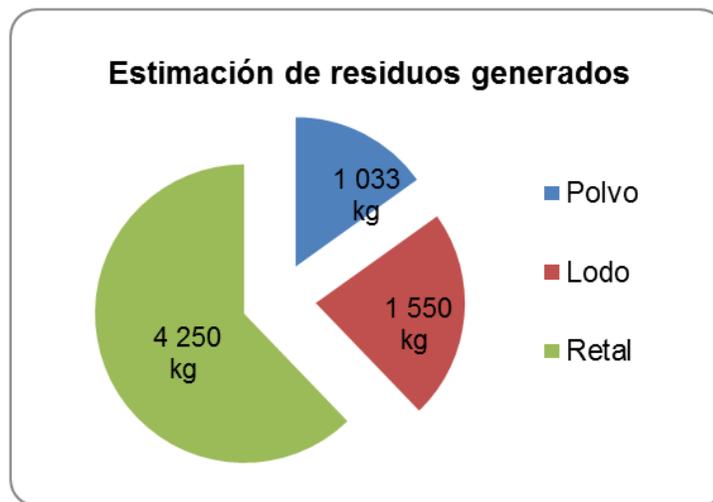
Tabla XV. **Análisis de datos estimación de residuos generados al mes**

Departamento	Estimación residuos generados			
	Polvo (kg)	Lodo (kg)	Retal (kg)	Total
Gerencia general	1 200	1 800	4 500	7 500
Supervisión	1 200	1 800	4 500	7 500
Administración	800	1 200	3 500	5 500
Comercial / ventas	800	1 200	4 000	6 000
Transporte / bodega	1 000	1 500	4 500	7 000
Fabricación	1 200	1 800	4 500	7 500
Total	6 200	9 300	25 500	41 000
Promedio	1 033	1 550	4 250	

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Se dispone a realizar el análisis sobre la estimación de residuos de mármol generados al mes por las ordenes de trabajo; como se ha descrito anteriormente, en el proceso de fabricación de superficies y acabados de piezas de mármol el residuo que mayor se genera es el retal de mármol, por consiguiente, es el residuo que en mayores dimensiones y cantidades se genera; según el departamento de fabricación se generan un promedio de 4 250 kg/mes, seguido del lodo de mármol con un promedio de 1 550 kg/mes, determinando también que se genera un promedio de 1 033 kg/mes de polvo de mármol.

Figura 48. **Gráfica de estimación de residuos generados al mes en el proceso de fabricación**



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Tabla XVI. **Análisis de datos sobre el residuo de mármol más fácil de reciclar y reutilizar**

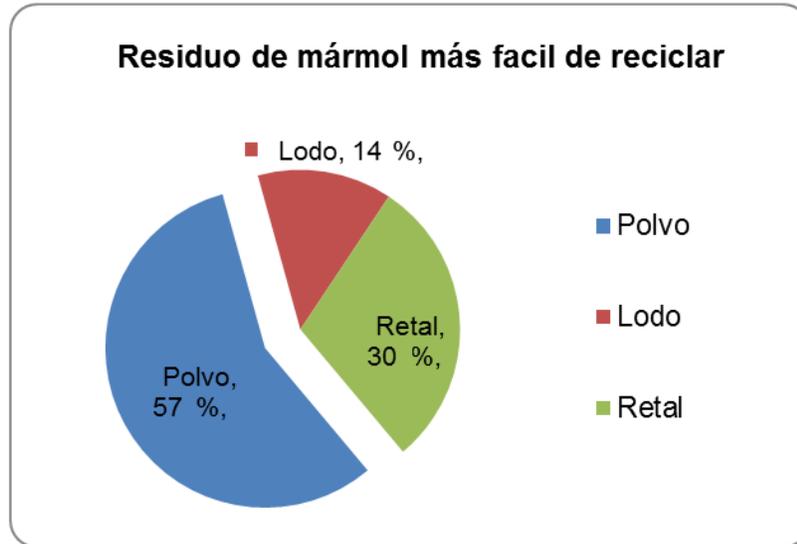
Departamento	Residuo que se recicla más fácil			
	Polvo	Lodo	Retal	Total
Gerencia general	1	-	-	1
Supervisión	3	-	-	3
Administración	2	-	3	5
Comercial / ventas	-	1	1	2
Transporte / bodega	3	-	-	3
Fabricación	16	5	9	30
Total	25	6	13	44
	57 %	14 %	30 %	100 %

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Al analizar los datos sobre qué residuo de mármol es más fácil de reciclar, se determina que un 57 % del personal considera que el polvo de mármol es más fácil de reciclar y a la vez de reutilizarse como subproducto de otros materiales; seguido de un 30 % que considera que el retal de mármol cumple con estas condiciones; el lodo de mármol según el 14 % del personal.

El personal considera también que los residuos de mármol tienen mayor aplicación en trabajos artesanales, en recubrimiento de paredes y pisos, tallado de esculturas, fabricación de tizas de yeso, aditivos para suelos, fabricación de piezas y materiales con propiedades similares al mármol.

Figura 49. **Gráfica de residuo de mármol más fácil de reciclar**



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

3.1.3. Área de estudio

Realizar un estudio y análisis sobre el tema a investigar, es de gran ayuda para delimitar el problema, centrando las principales causas y sus efectos, determinando el residuo más viable a gestionar y el área de estudio de mayor investigación. Como se analizó anteriormente, el polvo es el residuo de mármol que mayores utilidades produce a la hora de reciclar, pero este residuo tiene algunas restricciones, no puede mezclarse con partículas de otros materiales que se encuentren en el ambiente, ni mezclarse con agua; por lo que se dispone a obtener polvo de mármol mediante un proceso de trituración de retal de mármol para asegurarse que el polvo analizado y listo para reutilizar, sea realmente polvo de mármol con todos sus propiedades requeridas para la fabricación de pisos de mármol artificial.

Por lo tanto, el área de estudio será el área que mayor retal de mármol produzca en el proceso de fabricación, siendo esta el área de cuadré y corte, como se analizó anteriormente con la ayuda de la experiencia del personal que se relaciona directamente en el proceso de fabricación (operativo) y el conocimiento de quienes se relacionan indirectamente (administrativo).

3.1.4. Importancia del retal de mármol

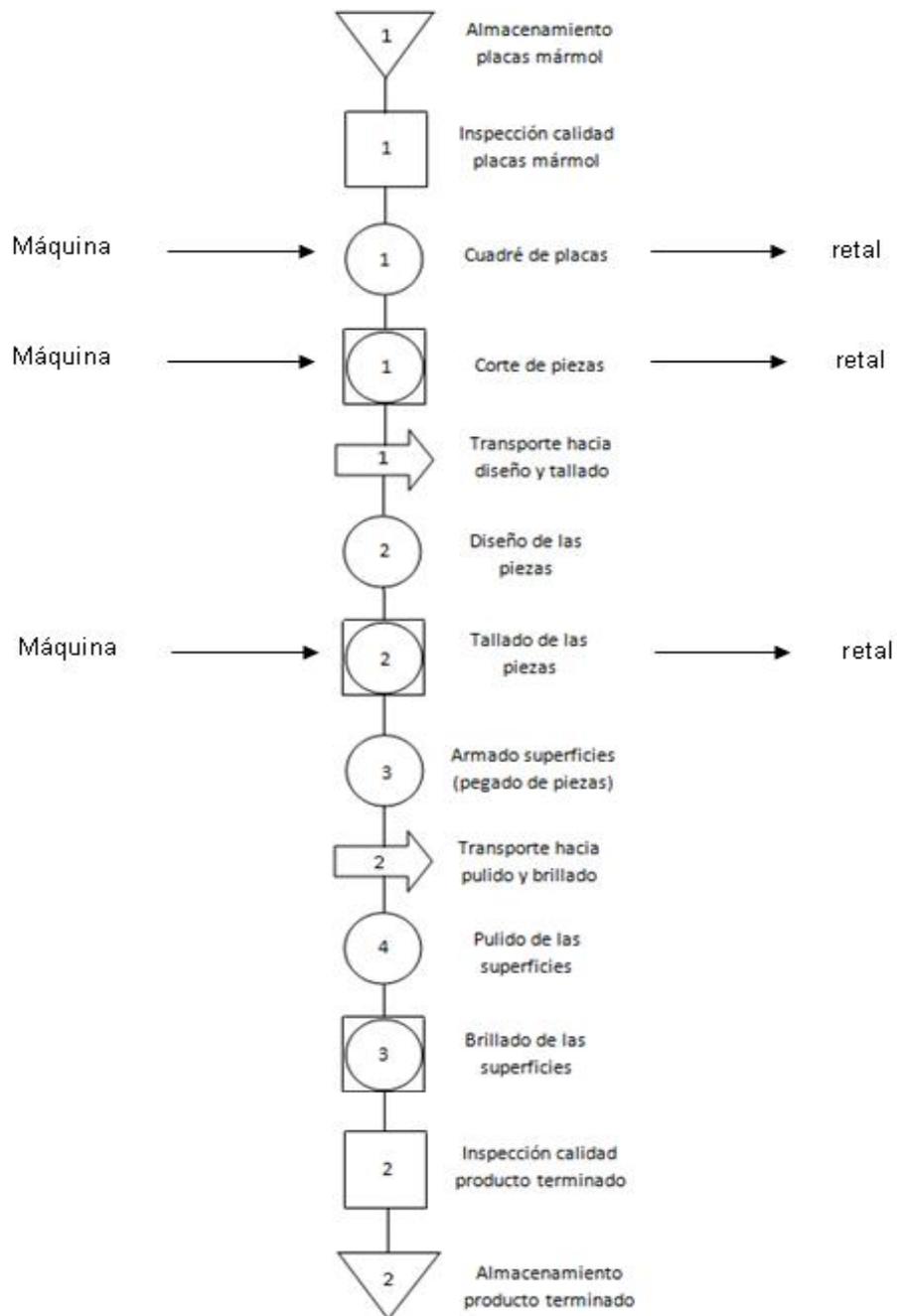
El retal de mármol es básicamente el sobrante o residuo de una placa de mármol; desde el punto de vista del proceso de fabricación, se le denomina desperdicio al retal de mármol debido a que es una actividad que no genera valor al producto terminado y por la cual el cliente no está dispuesto a pagar.

Para efectos de la propuesta del diseño de investigación, se utilizará el término retal para analizar el sobrante de las placas de mármol. El retal de mármol, será el residuo importante en el diseño del plan de investigación por su facilidad de recolección, muestreo, análisis, gestión y aportación de utilidades.

3.1.5. Diagrama de retal de mármol

En el proceso de fabricación de superficies y acabados, las operaciones que generan retal de mármol son: el cuadré, corte y tallado de las piezas; la operación de cuadré de las piezas es la que mayor retal genera. Se ha estimado que un 10 % del total de cada placa de mármol, se desperdicia en el proceso: un 5 % en el cuadré, 4 % en el corte y 1 % en el tallado de las piezas.

Figura 50. Diagrama de actividades generación de retal de mármol



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Como se ha mencionado en el capítulo anterior, en las operaciones de cuadré y corte de las piezas, las placas aserradas son cortadas y llevadas a una forma cuadrada, en ese momento el sobrante de la placa cae al suelo, formando las mayores fracciones de retal; a diferencia de la operación de tallado de las piezas, donde se forman fracciones mínimas de retal de mármol. Todo ese desperdicio de material genera deficiencia en el proceso de fabricación y en el ritmo de trabajo de los operarios que genera, también, pérdida de utilidades a la empresa al no contar con un plan de gestión de residuos para ver la manera de reciclar ese retal de mármol y sacarle un valor de rescate con su uso.

3.2. Análisis del retal de mármol

Definida el área del proceso de fabricación a investigar y el residuo de mármol a gestionar, se dispone a realizar el análisis del residuo de mármol a recolectar para continuar con los procesos posteriores.

3.2.1. Almacenamiento del material

Se ha descrito en el capítulo anterior, que el retal de mármol, es recolectado al inicio de cada día, recogiendo lo generado el día anterior y se coloca en los depósitos que se encuentran cerca del área de cuadro y corte; pero en los diferentes depósitos se encuentran residuos de los distintos materiales que se fabrica (mármol, granito y cuarzo); por lo tanto se propone colocar solo un depósito para recolectar todo el retal del tipo mármol a estudiar y que sea recolectado al terminar cada orden de fabricación para evitar que el retal de mármol se mezcle con el retal de granito y cuarzo, dificulte el transporte del personal dentro de la planta y que sea más difícil su recolección al finalizar cada día.

3.2.2. Características del material

El mármol más trabajado en Formas Geométricas, S.A., es el mármol de color beige, conocido como Travertino Beige en el mercado laboral, la composición química del retal de mármol con sus proporciones aproximadas a utilizar en este estudio es la siguiente:

Tabla XVII. **Composición del mármol natural**

Componentes	CaCO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ (SiO ₃) ₃	SiO ₂
Cantidad	±96,0 %	±0,05 %	±0,10 %	±1,00 %

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Carbonato de calcio en un promedio de 96,0 % siendo el principal componente (polvo) del mármol en este estudio, Óxido de Hierro en una proporción de 0,05 % que le da un tono de beige y colores rojizos al mármol, silicato de aluminio en un porcentaje de 0,10 % y el óxido de silicio en una proporción aproximada de 1,00 % que son las impurezas que constituyen el mármol.

3.2.3. Recolección de datos

Travertino Beige es el tipo de mármol con el que se fabrican más superficies y acabos en la planta de fabricación de Formas Geométricas, S.A., con un promedio de 5 a 6 órdenes de fabricación a la semana, según datos proporcionados por la gerencia de la empresa.

Figura 51. **Travertino Beige**



Fuente: elaboración propia.

Al finalizar cada orden de fabricación, se llevará un control del tamaño de la muestra para determinar qué tipo de muestra es la más factible para el proceso de trituración; se propone el siguiente formato: número de orden de fabricación y el total de unidades de retal, además del total de retal en m² y kg:

Tabla XVIII. **Diseño de recolección de retal de mármol**

Tamaño	Cantidad								Total (u)	Total (m ²)	Total (kg)
	Orden de fabricación										
	1	2	3	4	5	6	7	8			
0,01 m ² < n	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,01 m ² ≤ n ≤ 0,10 m ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
n > 0,10 m ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (u)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (m²)	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Total (Kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Se determina que las unidades de retal que se encuentren entre el área de 0,01 m² y 0,10 m² son las más factibles a utilizar en el proceso de trituración, debido a que se pueden ingresar fácilmente en la máquina para triturar retal.

3.2.4. Método de muestreo

El método de muestreo y el tamaño de la muestra dependen de la cantidad de variabilidad y del tipo de variabilidad que se da en la población, ambas en función del problema o decisión a tomar. Por lo que antes de recolectar y analizar los datos, se debe entender muy bien el problema y la población. Muestreo aleatorio estratificado es el método de muestreo que se propone utilizar donde los elementos del objeto que se pretende estudiar se dividen en grupos o subgrupos de acuerdo con las características de interés en el estudio. Este método consiste en identificar y seleccionar una muestra aleatoria de cada estrato, en función del área de cada pieza de retal recolectada de las operaciones de corte y cuadré de las placas y corte de las piezas.

Figura 52. **Formato de muestreo estratificado**

Empresa: Formas Geométricas, S.A.

Proceso: muestreo

Producto: retal de mármol

Hoja: 1/1

Elaborado por: Javier Campos

Fecha: junio 2015

Estrato	Tamaño	Marcas para conteo	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)
1	0,01 m ² < n	/	---	%
2	0,01 m ² ≤ n ≤ 0,10 m ²	//	---	%
3	n > 0,10 m ²	///	---	%
		Total		

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Al finalizar una semana de fabricación, todo el retal recolectado en cada orden de fabricación de Travertino Beige será tabulado en función al área base que es más factible de aprovechar en la trituración y obtención del polvo; se anota el número de muestras obtenidas en cada estrato con su frecuencia y su frecuencia relativa para posteriormente graficarlo en un histograma.

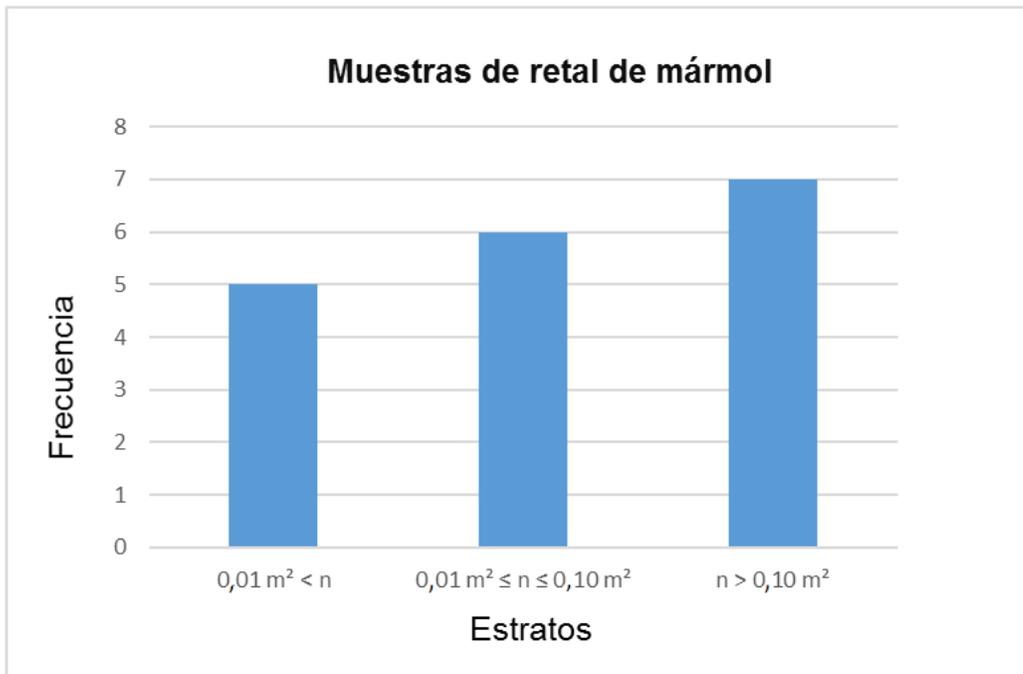
3.2.5. Diagrama de resultados

Una vez obtenidos los datos de la muestra a utilizar en el proceso de trituración de retal de mármol, se dispone a realizar el diagrama de resultados, utilizando la herramienta del histograma que es una representación gráfica en forma de barras de la distribución de un conjunto de datos que se clasifican por su magnitud en cierto número de grupos o estratos; cada grupo se representa por una barra cuya longitud es proporcional a la cantidad de datos que pertenecen a dicho grupo.

Se debe determinar la frecuencia de cada grupo según las marcas de cada conteo; además, se debe determinar la frecuencia relativa, dividiendo la frecuencia de cada grupo o estrato entre la frecuencia total para representar en el histograma el eje horizontal de la magnitud de los datos y el eje vertical representando las frecuencias como a continuación se presenta:

En ocasiones, en el histograma no se puede observar con claridad la magnitud de los datos pues existe mucha variación y en consecuencia es difícil analizar dato por dato; por lo que estratificar, ayuda a facilitar la búsqueda de la información, la representación de los datos y su análisis ya que es una herramienta muy eficiente en los métodos de muestreo para los procesos de fabricación.

Figura 53. **Diagrama de resultados retal de mármol**



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

3.3. Trituración del retal de mármol

Se dispone a realizar el diagrama de operaciones del proceso de trituración del retal de mármol, para obtener el polvo de mármol, que servirá de materia prima, para la fabricación del piso de mármol artificial.

3.3.1. Diagrama de operaciones

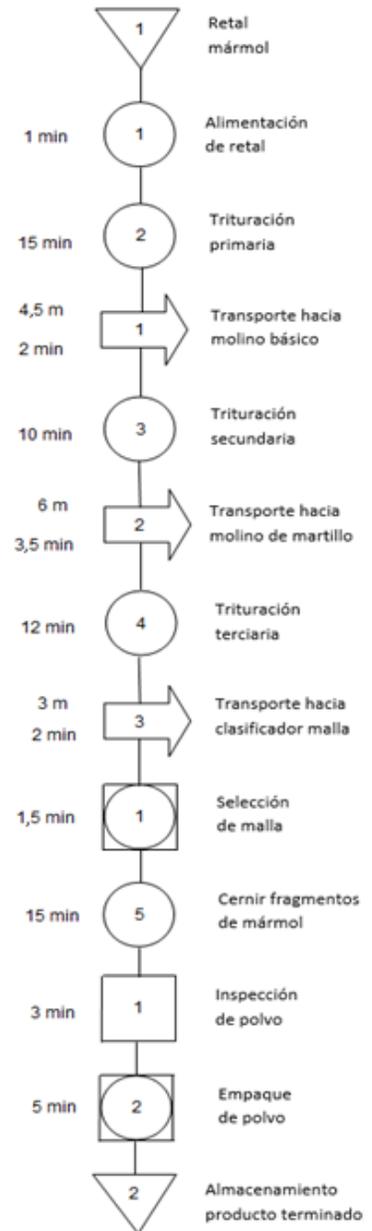
Se dispone a representar el diagrama de operaciones del proceso de trituración de retal de mármol.

Figura 54. Diagrama de operaciones trituración retal de mármol

Empresa: Formas Geométricas, S.A.
Producto: polvo de mármol
Inicia: almacenamiento retal de mármol
Elaborado por: Javier Campos

Proceso: trituración de retal
Hoja: 1/1
Finaliza: almacenamiento producto
Fecha: junio 2015

Actividad	Símbolo	Cantidad	Tiempo (min)	Distancia (m)
Operación	○	5	53	---
Transporte	➡	3	7,5	13,5
Inspección	□	1	3.0	---
Almacenaje	▽	2	---	---
Combinada	◻	2	6,5	---
Total		13	70	13,5



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Realizado el diagrama de operaciones del proceso de trituración del retal de mármol, se puede definir un tiempo promedio de 70 min de todas las operaciones del proceso de trituración; a continuación, se describe cada una de las actividades del proceso:

- Almacenamiento de retal: el retal de mármol, producto del proceso de fabricación de superficies y acabos de Formas Geométricas, S.A., se almacena en el área establecida por la planta trituradora; en costales y canastas de madera separando el residuo de mármol, de los otros residuos.
- Alimentación de retal: en esta actividad, el retal de mármol ingresa a la trituración primaria, por medio de un alimentador que consiste en un canal de metal, que conduce el residuo de mármol hacia abajo, en donde se encuentra la trituradora de mandíbulas quebrantadoras, para realizar la primera trituración.
- Trituración primaria: el retal de mármol pasa por una operación de trituración primaria, en donde se desintegra el material grueso para producir material irregular más pequeño (extrusión). El residuo suministrado puede ser de 600 mm – 1 500 mm de grosor, para luego obtener fragmentos de mármol de 100 mm – 50 mm de grosor; esta operación lleva un tiempo de 15 min promedio.
- Transporte hacia molino básico: luego que los fragmentos de mármol salen de la trituración primaria, son transportados por una banda transportadora de 4,5 m de largo, donde los fragmentos de mármol se dirigen hacia un molino básico, para realizar la siguiente operación de trituración secundaria.

- Trituración secundaria: los fragmentos de mármol que se derivan de la trituración primaria, son llevados a un molino básico, donde el suministro de residuo puede ser de 100 mm – 50 mm de grosor, para dar como resultado fragmentos de mármol de 50 mm – 25 mm de grosor, con un tiempo promedio de operación de 10 min.
- Transporte hacia molino de martillo: en esta operación, los fragmentos de mármol derivados de la trituración secundaria, son transportados hacia el molino de martillo, que tiene la función de realizar la trituración terciaria; la banda transportadora tiene una distancia de 6 m, cronometrando un tiempo promedio de 3,5 min del proceso de trituración.
- Trituración terciaria: en el molino de martillo, se realiza la última etapa de la trituración de mármol, donde el rotor del martillo realiza las funciones de impactar, cortar y moler los fragmentos a gran velocidad, con un promedio de tiempo de 12 min, en esta operación se producen fragmentos de mármol menores de 6 mm.
- Transporte hacia clasificador de malla: luego de la última operación de trituración de mármol, los fragmentos se dirigen hacia el clasificador de mallas, por medio de una banda transportadora que mide 3 m de distancia y con un tiempo de 2 min.
- Selección de malla: en esta operación, los fragmentos de mármol se clasifican según el granulado de polvo que se requiere obtener; se utilizan mallas metálicas llamadas *Mesh* (en inglés); las mallas utilizadas en este proceso son: *Mesh* 200 que produce polvo en 74 μm , *Mesh* 325 que produce polvo en 44 μm y *Mesh* 400 que produce polvo en 37 μm .

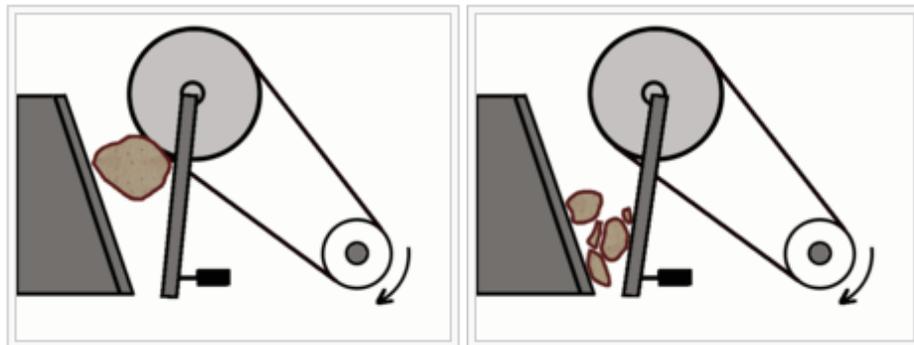
- Cernir fragmentos de mármol: luego de definir el tipo de malla para obtener el granulado de polvo, según el requerimiento del cliente, los fragmentos de mármol se disponen a cernir, apartando los fragmentos que no logren ingresar a las mallas y depositando el polvo en los recolectores de producto terminado.
- Inspección de polvo: el polvo cernido se dispone a inspeccionar para verificar que se encuentre libre de cualquier residuo o polvo ajeno al mármol, esta operación no lleva más de 3 min de inspección, para proceder a empaquetarlo y almacenarlo.
- Empaque de polvo: el polvo de mármol, se empaca según la cantidad de polvo requerid; mientras que los empaques van desde bolsas plásticas para 1 kg, 2 kg hasta empaques con material textil, como costales de cáñamo, para requerimientos mayores a 25 kg.
- Almacenamiento de producto terminado: una vez empaquetado el polvo de mármol, se debe almacenar en el área establecida de almacenamiento de producto terminado, libre de cualquier residuo de mármol y de maquinaria existente en las estaciones de trabajo.

3.3.2. Maquinaria a utilizar

La maquinaria a utilizar en la planta trituradora de retal de mármol, consta de tres etapas de trituración: inicia en una trituradora de mandíbulas quebrantadoras, seguido de un molino básico, para terminar en un molino de martillo: trituración primaria, secundaria y terciaria, respectivamente.

La trituradora de mandíbulas quebrantadoras contiene dos mandíbulas hechas de acero fundido y cubiertas por placas de aleaciones de manganeso: una fija y la otra móvil; el motor eléctrico rota por medio de una polea que conduce un eje que hace a que la mandíbula móvil se acerque y se aleje, realizando una trituración de extrusión. La trituradora de mandíbulas posee un alimentador de metal de 200 x 1 200 mm de dimensión que consiste en una canal que puede suministrar retal de 600 mm – 1 500 mm de grosor para obtener fragmentos de mármol de 100 mm – 25 mm de grosor; el motor eléctrico tiene una potencia de 30 Kw y una velocidad que oscila entre las 800 y 900 rpm para una capacidad de hasta 35 t/h de retal de mármol para ser triturado.

Figura 55. **Esquema trituración por mandíbulas**

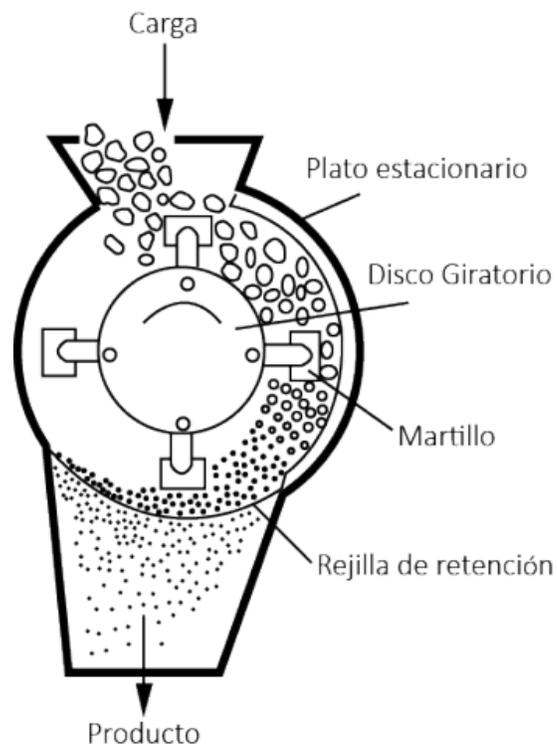


Fuente: ORTIZ CAÑAVATE, Jaime. *Esquema del principio de trituración de mandíbula*.
es.wikipedia.org/wiki/Trituradora. Consulta: 19 de noviembre de 2015.

La trituración secundaria consiste en molino básico en donde se pueden suministrar fragmentos de mármol de 100 mm – 50 mm de grosor para obtener fragmentos de 50 mm – 25 mm de grosor; el molino dispone de un motor eléctrico de 10 Kw y de una capacidad de 5 – 30 t/h. La trituración del retal de mármol finaliza con el molino de martillo; actúa por efecto de impacto sobre el

material a desintegrar, con la propiedad de darle forma cubica al material; el molino de martillo tiene una forma cónica, cubierto por una carcasa de acero, en su interior se encuentra un eje con un rotor que realizan el funcionamiento de compresión e impacto; el molino de martillo trabaja con una potencia de hasta 22 Kw y con una velocidad promedio de 980 rpm; puede recibir una capacidad entre 15 y 30 t/h para producir fragmentos de mármol menores de 6 mm de grosor.

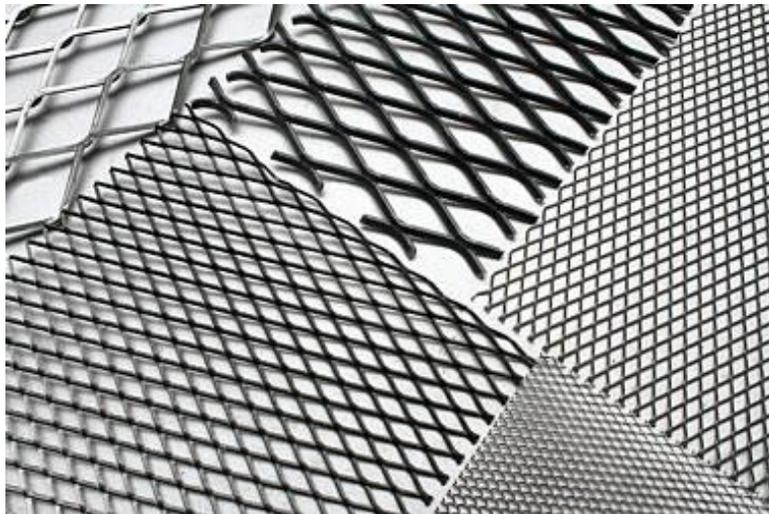
Figura 56. **Esquema molino de martillo**



Fuente: *Esquema de molino de martillo*. www.palamaticprocess.es/equipos-industriales/desterrador-molturacion. Consulta: 19 de noviembre de 2015.

En la planta trituradora que se visitó, en la operación de clasificación y selección de malla se trabaja con las mallas 200, 325 y 400, específicamente; cabe mencionar, que otras plantas trituradoras de mármol pueden trabajar con los otros tipos de *Mesh* que van desde la 10 a la 400.

Figura 57. ***Mesh* para cernir fragmentos de mármol**



Fuente: *Mallas normalizadas*. mallasespeciales-ltda.com. Consulta: 19 de noviembre de 2015.

Por lo que a continuación se presenta la figura de la tabla de los números de *Mesh* y la abertura de malla en tres sistemas distintos utilizados internacionalmente; en el caso del conjunto de normas ASTM es la norma E-11 y en el caso del conjunto de normas ISO es la norma 3310-1.

Figura 58. Norma ASTM E 11-61

Abertura en mm	USA standard ASTM E 11-61	Número mesh de Tyler (mesh/in.)	British standard (mesh/in.)
0,037	400	400	—
0,044	325	325	—
0,045	—	—	350
0,053	270	270	300
0,063	230	250	240
0,074	200	200	—
0,075	—	—	200
0,088	170	170	—
0,090	—	—	170
0,105	140	150	150
0,125	120	115	120
0,149	100	100	—
0,150	—	—	100
0,177	80	80	—
0,180	—	—	85
0,210	70	65	72
0,250	60	60	60
0,297	50	48	—
0,300	—	—	52
0,354	45	42	—
0,355	—	—	44
0,420	40	35	35
0,500	35	32	30
0,595	30	28	—
0,600	—	—	25
0,707	25	24	—
0,710	—	—	22
0,841	20	20	—
1,00	18	16	16
1,19	16	14	—
1,20	—	—	14
1,41	14	12	—
1,68	12	10	10
2,00	10	9	8

Fuente: MESH ASTM. <http://www.cenunez.com.ar/archivos/55-Enrelacinalostamicenormalizados.pdf>. Consulta: 19 de noviembre de 2015.

3.3.3. Selección de la muestra

Descrito el proceso de trituración de retal de mármol y definas las características de la planta de trituración en la que se obtendrá el polvo de mármol, se dispone a definir qué tipo de malla se va a seleccionar para obtener el polvo de mármol que se pretende utilizar en la fabricación de pisos de mármol artificial.

Como se ha mencionado, la planta trituradora seleccionada para esta investigación trabaja con las mallas Nro. 200, 325 y 400, para granulado de 0,075, 0,044 y 0,037 mm, respectivamente; para efectos de investigación se debe obtener el polvo de mármol lo más fino posible para descartar todo residuo y/o polvo externo que afecte la composición del carbonato de calcio en el mármol entonces se selecciona la *Mesh* 400. Se debe llevar el historial de retal suministrado a la planta trituradora y el polvo obtenido en el proceso de trituración para tener una estimación de cuánto polvo puede producirse con cierta cantidad de retal de mármol para futuras investigaciones; se propone la siguiente tabla para llevar el control de material suministrado y el material obtenido:

Tabla XIX. **Selección de muestra de polvo de mármol**

No.	Mesh	Retal (kg)	Mármol	Tiempo (min)	Polvo (kg)
1	400	-	Travertino Beige	-	-
2	400	-	Travertino Beige	-	-
3	400	-	Travertino Beige	-	-
4	400	-	Travertino Beige	-	-
5	400	-	Travertino Beige	-	-

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Es muy importante anotar que tipo de malla se utilizará en cada orden de trituración, el tipo de mármol a triturar y el tiempo cronometrado en el proceso de trituración; se debe seleccionar la muestra de polvo en función de la mayor cantidad en kg que genere cada orden de trituración.

3.3.4. Características de la muestra

La muestra de polvo de mármol que se dispone a utilizar en la fabricación de pisos de mármol artificial debe reunir todas las características anteriormente descritas; debe ser polvo de mármol Beige Travertino; cernido con malla 400 para obtener un granulado fino de 0,037 mm; debidamente inspeccionado, libre de todo residuo y/o polvo externo y que cumpla con los requerimientos de esta investigación; cada muestra empaquetado en bolsas plásticas con contenido neto no mayor a 2 kg para su facilidad de almacenamiento y transporte.

3.4. Fabricación de pisos de mármol artificial

Se dispone a presentar el proceso de fabricación de mármol artificial como su procedimiento, su composición y la mezcla a utilizar, calidad de material y aplicaciones del producto terminado.

3.4.1. Diagrama de operaciones

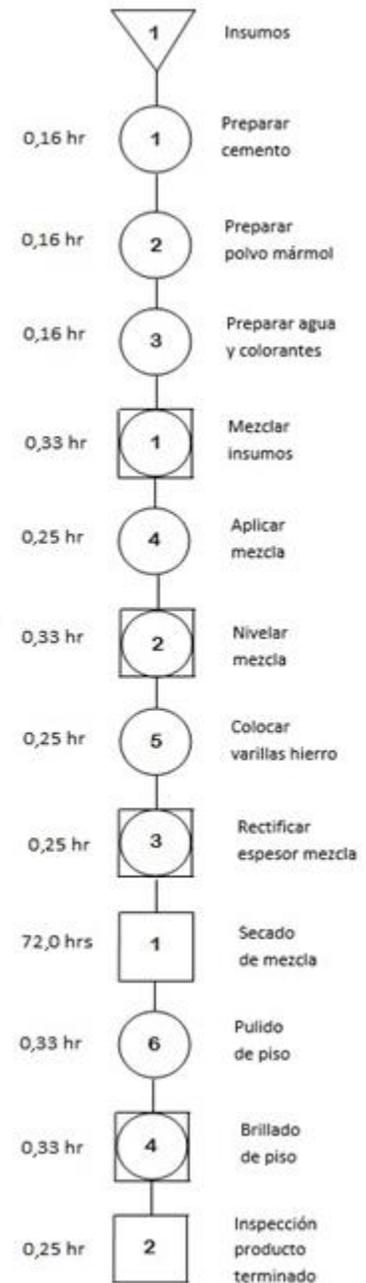
Se presenta el diagrama de operaciones del proceso de fabricación de piso de mármol artificial, con su tiempo medio de fabricación.

Figura 59. Diagrama de operaciones pisos mármol artificial

Empresa: Formas Geométricas, S.A.
Producto: piso de mármol artificial
Inicia: almacenamiento insumos
Elaborado por: Javier Campos

Proceso: fabricación piso mármol artificial
Hoja: 1/1
Finaliza: inspección producto terminado
Fecha: julio 2015

Actividad	Símbolo	Cantidad	Tiempo (hrs)	Distancia (m)
Operación	○	6	1,310	---
Transporte	➡	---	---	---
Inspección	□	2	72,25	---
Almacenaje	▽	1	---	---
Combinada	◻	4	1,240	---
Total		13	74,80	---



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Después de representar el diagrama de operaciones del proceso de fabricación de pisos de mármol artificial, se describe cada una de las actividades del proceso para la fabricación de 1 unidad de piso, el mismo proceso para fabricar los demás pisos y se realizan paralelamente:

- Almacenamiento de insumos: se encuentran almacenados los insumos necesarios para la fabricación de pisos de mármol artificial. Cabe mencionar que se especificará el proceso de fabricación para 1 unidad de piso de mármol artificial, pues para fabricar más unidades de pisos, se debe preparar más de cantidad de cada insumo empleado.
- Preparar cemento: Se preparan los 0,5 kilogramos de cemento portland por cada kilogramo de polvo de mármol (0,5 kg cemento / kg de polvo mármol) que contiene algunos componentes que el polvo de mármol, solo que con más proporciones; óxido de hierro $\pm 3,0$ %, óxido de silicio $\pm 12,5$ %.
- Preparar polvo de mármol: en esta actividad, se debe preparar el polvo de mármol, producto del proceso de trituración del retal con una proporción doble a la del cemento; previamente el polvo debe ser cernido para retirar cualquier suciedad o material que se pudiera adherir en el ambiente.
- Preparar agua y colorantes: de agua se preparan 0,5 litros por cada kilogramo de polvo de mármol (0,5 l agua / kg polvo mármol) y 4 onzas de colorante, mayormente conocido como pigmento en polvo para cemento; del color al gusto para fabricar el mármol artificial, por cada kilogramo de polvo de mármol (4 oz pigmento / kg polvo mármol).

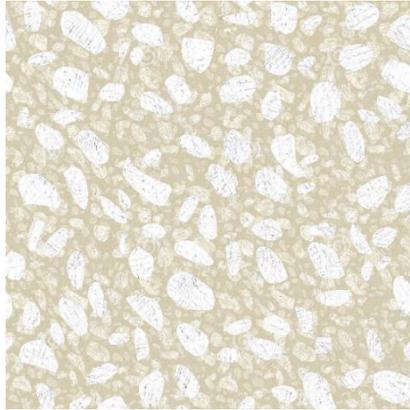
- Mezclar insumos: seguidamente, se deben mezclar los insumos correspondientes con ayuda de una cuchara de las que se utilizan en el área de la construcción. Esta operación lleva aproximadamente 20 min para formar una especie de lechada, para que sea fácil de aplicar en el molde a trabajar.
- Aplicar mezcla: con la mezcla formada, se dispone a cubrir toda la superficie del molde, con un espesor de 2 cm; que es el espesor que normalmente traen las placas de mármol natural, esta operación, no llevará más de 15 min.
- Nivelar mezcla: en esta operación, se nivela la mezcla aplicada en el molde, inspeccionando que los 2 cm de espesor se respeten en el proceso de fabricación. Se utiliza una plancha o una llana como comúnmente se llama que se utilizan en el área de la construcción.
- Colocar varillas de hierro: para efectos de investigación, el polvo de mármol será utilizado para fabricar pisos de mármol artificial, pues se puede fabricar otras piezas de diferentes dimensiones y espesores de mármol artificial; mientras más grande sea la pieza más resistente debe fabricarse, por lo que después de nivelar la mezcla, se debe colocar varillas de hierro de $\frac{1}{4}$ " de diámetro para darle la resistencia adecuada a la pieza de mármol artificial y, por consiguiente, evitar fisuras en el material.
- Rectificar mezcla: si en el proceso de fabricación de mármol artificial, se debe rectificar que la mezcla tenga el espesor adecuado a los objetivos de la fabricación.

- Secado de mezcla: el secado de la mezcla es la actividad que más tiempo lleva en el proceso de fabricación, para la fabricación de los pisos de mármol artificial, se propone un tiempo de secado de 72 hr; el tiempo de secado de cada pieza depende del volumen empleado en el proceso.
- Pulido de piso: en esta actividad se pretende quitar toda la aspereza y filos en los cantos que contenga el piso de mármol artificial; se realiza con una copa diamantada para pulir concreto y mármol.
- Brillado de piso: se dispone a darle el acabado final al piso, con una pulidora y lijas de diferentes grosores que trabajan a base de agua, para darle el brillo correspondiente y remover el polvo y/o residuos que se hayan generado en la actividad anterior, esta operación no lleva más de 20 min por piso.
- Inspección producto terminado: se controla la calidad del piso de mármol fabricado, para rectificar que este cumpla con las especificaciones que se requieren para la utilidad que se le pretende asignar.

3.4.2. Dimensiones del piso de mármol

Para efectos de investigación y análisis de costos, se realizará la gestión del residuo de mármol para fabricar pisos de mármol artificial de dimensiones de 15 X 15 cm.

Figura 60. **Piso de mármol artificial**



Fuente: elaboración propia.

Los pisos serán de 15 X 15 cm dimensiones utilizadas en la decoración de pisos de jardín hoy en día, en la arquitectura de edificios, centros comerciales, oficinas, locales de negocios, residencias, por su atractivo e innovador diseño.

3.4.3. Insumos para la fabricación

Descrito cada una de las actividades del proceso de fabricación, sus tiempos promedios de realización y las dimensiones del piso de mármol artificial a fabricar, se debe diseñar un molde de madera en donde se va a aplicar la mezcla de mármol artificial. Este molde de madera, consta de una superficie horizontal de madera de (16 X 12 X ½)”, plana y debidamente nivelada; sobre la superficie se deben colocar 2 reglas de madera de (16 X 2 X ½)” a lo largo y 2 reglas de madera de (12 X 2 X ½)” a lo ancho, a manera de formar un área útil de (15 X 15) cm como molde para aplicar la mezcla de los materiales, como se puede apreciar en la figura 63.

Figura 61. **Diseño de molde para fabricar piso mármol artificial**



Fuente: elaboración propia.

Los insumos necesarios para fabricar el piso de mármol artificial son el cemento y el polvo de mármol en kg como insumo principal, agua en litros y colorantes en polvo de cemento medidos en onzas que constituye la materia prima de esta investigación. Otras herramientas importantes para el proceso de fabricación, es una cuchara y una plancha para nivelar la mezcla, varillas de hierro por si se quisiera dar mayor resistencia al piso, una pulidora pequeña con su disco diamantado y sus lijas para pulir y brillas respectivamente el piso de mármol artificial.

3.4.4. Composición del mármol artificial

Se propone preparar 1,5 kg de polvo de mármol para la mezcla, anteriormente se mencionó que por cada kg de polvo de mármol, se utilizaría 0,5 kg de cemento y 0,5 litros de agua, además de preparar 4 onzas de pigmento en polvo por cada kg de polvo de mármol; quedando la mezcla compuesta de la siguiente manera:

$$Mz(x) = 0,5 \text{ kg cemento (X)} + X \text{ kg polvo} + 0,5 \text{ l agua (X)} + 4 \text{ oz pigmento (X)}$$

Donde:

- Mz: mezcla a fabricar
- X: polvo de mármol

Es necesario llevar todas las unidades a una misma unidad, por lo que la mezcla de mármol artificial, se encontrará en kilogramos sobre metros cúbicos (kg/m^3). Los litros miden volumen y los kilogramos miden peso, pero si se habla de la densidad de cierto material, estas dos unidades se relacionan entre sí; la densidad del agua es de $1\ 000 \text{ kg}/\text{m}^3$, por lo que los litros deben pasarse a metros cúbicos y posteriormente relacionarlos con los kilogramos:

$$0,5 \text{ l (} 0,001 \text{ m}^3 / 1 \text{ l)} = 0,0005 \text{ m}^3$$

Entonces:

$$0,0005 \text{ m}^3 (1\ 000 \text{ kg} / 1 \text{ m}^3) = 0,5 \text{ kg}$$

Se concluye que la misma cantidad de volumen de cierto material o sustancia, será la misma en peso; por lo que 0,5 l de agua ocuparan 0,5 kg de agua.

Por cada kg de polvo de mármol se debe aplicar 4 oz de pigmento en polvo, por lo cual, las onzas se deben pasar a kilogramos de la siguiente manera:

$$4 \text{ oz (} 0,028 \text{ kg} / 1 \text{ oz)} = 0,11 \text{ kg}$$

Se tiene como resultado final, la siguiente ecuación para la mezcla de mármol artificial, en función de los kg de polvo de mármol:

$$Mz(x) = 0,5 \text{ kg}_{\text{ cemento }} (X) + X \text{ kg}_{\text{ polvo }} + 0,5 \text{ kg}_{\text{ agua }} (X) + 0,11 \text{ kg}_{\text{ pigmento }} (X)$$

Donde:

- Mz: mezcla a fabricar
- X: polvo de mármol

Se propone la composición anteriormente descrita para la mezcla de mármol artificial; cabe mencionar que es una propuesta de diseño, pues en el momento de la implementación, la composición de la mezcla puede estar sujeta a modificación según lo que se pretende lograr en la investigación.

3.4.5. Calidad del material

En ingeniería industrial, la calidad de un material se puede medir de dos formas, por variables y por atributos. En el control de calidad por variables, se aplican características de calidad de tipo continuo, que intuitivamente son aquellas que requieren un instrumento para medir: peso, voltaje, resistencia, temperatura, humedad, etc. En el control de calidad por atributos, se aplican características que no son evaluadas con un instrumento de medición en una escala continua; ciertas características son: pulido, brillo, porosidad, agrietamiento, despuntes, tonalidad.

El mármol artificial tendrá un formato 15 X 15 cm y un grosor de 0,02 cm, el tono del mármol artificial, va a depender del tipo de colorante que se le aplique a la mezcla, se medirá que no exista defecto en cada piso de mármol

artificial, como grietas, despuntes en sus bordes, aspereza y porosidad muy profunda. El brillo que obtendrá el piso de mármol artificial, dependerá de la operación de pulido y brillado; si se realiza adecuadamente esta actividad con cada una de las lijas y sus grosores correspondientes, se conseguirá un piso de mármol que a simple vista se verá tan natural.

Para efectos de investigación, se medirá la calidad del producto generado por la gestión de residuos de mármol mediante atributos, cabe destacar que la única característica de medición será el formato de fabricación. Para estas características de calidad, el producto fabricado es juzgado como defectuoso o no defectuoso, dependiendo si posee la aprobación de ciertos atributos propuestos; en estos casos a un producto que no reúne ciertos atributos no se le permiten pasar como producto terminado y se le separa del resto, denominándolo como producto defectuoso, caso contrario de un producto que si cumple con los atributos propuestos a medir, este si pasa a ser producto terminado de calidad.

Se propone realizar un gráfico de control de tipo np (número de artículos defectuosos), que monitorea el número de unidades defectuosas por números de órdenes de fabricación, este gráfico de control se utiliza cuando no se obtiene mayor información de las características del producto de carácter de medición sobre su capacidad, básicamente se toman criterios de que si el producto pasa o no pasa.

3.5. Aplicaciones del mármol artificial

3.5.1. Utilidades del mármol artificial

El mármol artificial, como segunda opción en piedras de diseño, es útil en revestimientos de fachadas, columnas, paredes y escaleras; en pisos, barandas, zócalos; decoración de baños, pues resulta muy agradable estéticamente. Hoy en día, se ven cada vez más materiales que imitan perfectamente al mármol natural; si bien es cierto que usualmente se utiliza este tipo de material en acabados interiores, como forro de escaleras y en suelos interiores donde se desea dar un toque de distinción y elegancia; cabe destacar que el mármol artificial puede utilizarse también para acabados exteriores, recubrimiento de paredes, forro de columnas, barandas, por su gran belleza y el estilo arquitectónico que este le produce.

Figura 62. Utilidades del mármol artificial



Fuente: AGUDELO, Asdrúbal. *Formas Geométricas, S.A.: Catálogo de productos.* p. 8.

Es importante recalcar que los pisos de mármol artificial deben colocarse sobre una base nivelada y firme, libre de polvo, limpia y sin grietas, puesto que al momento de colocarse deben pegar perfectamente y las juntas deben estar bien definidas y separadas por crucetas o separadores.

3.5.2. Ventajas del mármol artificial

El mármol natural es resultado de los productos de la naturaleza, de la creación de la naturaleza o de los productos de la naturaleza; poseen tamaños y formas diferentes y su brillo le da una belleza impresionante. El mármol artificial es un producto a base de cemento que se moldea para representar una superficie de piedra y que se puede colorear para darle el tono similar al mármol natural con yeso, colorantes de cemento, pigmentos naturales, entre otros.

El mármol artificial se usa como pieza fina que se adhiere a una pared o superficie, el mármol artificial es ligero y fácil de instalar, ya que normalmente pesa menos que el mármol natural, por lo tanto, puede instalarse en casi cualquier tipo de muro o pared. En cuanto a tiempo, el proceso de fabricación del mármol artificial es menor que el tiempo de fabricación del mármol natural, puesto que lleva menos operaciones, al verse simplificado el proceso ya obtenido el polvo de mármol, producto de la trituración del retal.

Al gestionar el residuo de mármol, se lograría un gran beneficio para la empresa, no solo al mejorar la eficiencia en la empresa, sino que se puede obtener un valor de salvamento por cada materia prima utilizada en el mármol natural. El costo de fabricación es menor al requerir menos recurso humano para su fabricación, los gastos de fabricación indirectos de fabricación son mínimos y el insumo principal es producto del residuo de la materia prima que se trabaja en Formas Geométricas, S.A.

3.5.3. Áreas para la aplicación del material

La principal utilidad que se le ha dado al mármol artificial ha sido en la arquitectura e ingeniería; es un material altamente resistente para la construcción de columnas y soportes que deben sostener una gran cantidad de peso, también, se encuentra su aplicación en acabados de cocina y baños, muchas provenientes de calizas y mezclas de otras piedras naturales de similares propiedades físicas y químicas.

El mármol artificial se utiliza principalmente en el área de la construcción, decoración y escultura, para el esculpido de obras de arte, decoración de interiores y mobiliario. El uso del mármol en construcción ha estado siempre ligado a los revestimientos de gran vistosidad; la popularidad del mármol se debe a su utilidad, versatilidad, durabilidad y elegancia.

Con el mármol artificial, también, se fabrican ladrillos y blocks para construcción de cal-arena, tejas y tubos, así como productos de mampostería elaborados con mezclas de cal y agregados. La sencillez con la que se fabrican estas piezas no tiene límites, solo la imaginación de los clientes que cada día eligen este material para decorar ambientes de su casa.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Recolección del material a reciclar

Diseñado el plan de propuesta para la gestión de residuos de mármol, se dispone a implementarlo con todos los lineamientos propuestos.

4.1.1. Retal de mármol Travertino Beige

La temporada alta de fabricación en Formas Geométricas, S.A., empieza a mediados del mes de octubre para finalizar a principios del mes de enero del año siguiente, debido a que muchos clientes desean ampliar, remodelar o construir utilizando superficies y acabados en mármol; esto según datos de proyecciones de años anteriores, proporcionados por la gerencia de la empresa.

El mármol Travertino Beige es el más utilizado para la decoración en cocinas, baños, pisos, muros, gradas, entre otros, y el mármol más fabricado en Formas Geométricas, S.A.; por esa razón se estima que se generen varias órdenes de fabricación de superficies y acabados durante la temporada alta. Esto sería fundamental para la recolección de suficiente retal de mármol, poder seleccionar las muestras deseadas y así realizar de mejor manera la recolección y el análisis de datos a investigar.

4.1.2. Áreas de recolección de material

El almacenamiento del retal de mármol, se llevó a cabo mediante la colocación de tres depósitos de metal; un solo depósito se destinó para almacenar el retal de mármol Travertino Beige y, como se propuso, se debe colocar cerca del área de cuadré y corte de las piezas; se procede a depositar el retal al finalizar de cada orden de fabricación.

Cuando ingresa la orden de fabricación, se dispone a localizar las placas de mármol a utilizar, según el requerimiento de la orden de fabricación; luego, es llevada a la mesa de corte donde se realiza el cuadré para eliminar las imperfecciones que contienen las placas a los lados; seguido del cuadré, se cortan las piezas de mármol según las el despiece y las medidas que indique la orden de fabricación; se estima que en esta operación, se genera el 9 % del total de retal; por lo que se le da instrucciones a los operarios de la máquina, que al terminar de cortar todo lo que indica la orden de fabricación se recoja el retal y con ayuda del encargado de planta se notifique la cantidad y dimensión de cada pieza para posteriormente efectuar la recolección y el análisis de los datos.

Cortadas las piezas que servirán para fabricar las superficies y acabados en Travertino Beige, se procede a tallar cada pieza según el requerimiento de la orden de trabajo; se estima que en esta operación se genera el otro 1 % del total de retal de mármol, para completar el 10 % de estimación; terminada cada orden de trabajo, los operarios depositan el retal en el lugar indicado y el supervisor de planta notifica la cantidad y área de cada pieza.

Figura 63. **Depósito de retal de mármol Travertino Beige**



Fuente: elaboración propia.

4.1.3. Recolección de datos

Se tomará como base la semana de fabricación de superficies y acabados donde más órdenes de fabricación de Travertino Beige se realizaron: la semana del 7 al 12 de diciembre. Durante esa semana de labores, el personal operativo, en horas ordinarias y extraordinarias, se generó 8 órdenes de fabricación; entre las superficies más fabricadas, sobresalen superficies para remodelaciones de cocinas y piezas con acabados especiales para la decoración de gradas en una torre de apartamentos.

Para fabricar las superficies y acabados de esas órdenes de fabricación, se utilizaron 12 placas de mármol; cabe recordar que se ha estimado que alrededor del 10 % de las placas de material, se desperdicia en cada orden de fabricación; se presenta a continuación, el detalle de la cantidad de retal que se generó en el proceso por cada orden de fabricación según el estrato definido en el método de muestreo:

Tabla XX. **Recolección de retal de mármol**

Tamaño	Orden de fabricación								T. (u)	T. (m ²)	T. (kg)
	1	2	3	4	5	6	7	8			
0,01 m² < n	5	4	2	4	2	1	4	3	25	0,25	1,22
0,01 m² ≤ n ≤ 0,10 m²	3	4	4	3	4	5	2	4	29	1,45	7,05
n > 0,10 m²	2	1	1	2	1	2	3	2	14	1,40	6,80
Total (u)	10	9	7	9	7	8	9	9	68	3,10	15,1
Total (m ²)	0,4	0,34	0,32	0,4	0,32	0,46	0,44	0,43	3,1		
Total (kg)	1,94	1,65	1,56	1,90	1,56	2,24	2,14	2,09	15		

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

De las 8 órdenes de fabricación, se determinó cuánto retal se desperdició en el proceso de fabricación de mármol Travertino Beige; por consiguiente, se puede determinar que, de las 12 placas de mármol, se recolectaron 68 piezas que van a ser útiles en el proceso de trituración de mármol. Cada placa de mármol contiene 4,86 m², del total de metraje fabricado por las 12 placas, se desperdició 3,10 m², recolectando 15,1 kg de retal de mármol.

4.1.4. **Análisis de los datos**

Realizada la recolección de datos de retal de mármol, se dispone a graficar y analizar los resultados, se anota con una diagonal (/), cada unidad de pieza recolectada según el rango a la que pertenece, al finalizar de anotar las 68 piezas, se dispone a sacar la frecuencia, que no es más que el total de cada marca con estrato; posteriormente, se calcula la frecuencia relativa para efectos de análisis e interpretación de datos.

Tabla XXI. **Análisis de muestreo estratificado**

Estrato	Tamaño	Marcas para conteo	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)
1	$0,01 \text{ m}^2 < n$	//// // // //// //	25	36,76
2	$0,01 \text{ m}^2 \leq n \leq 0,10 \text{ m}^2$	//// // // //// // //	29	42,65
3	$n > 0,10 \text{ m}^2$	//// // //	14	20,59
		Total	68	100,0

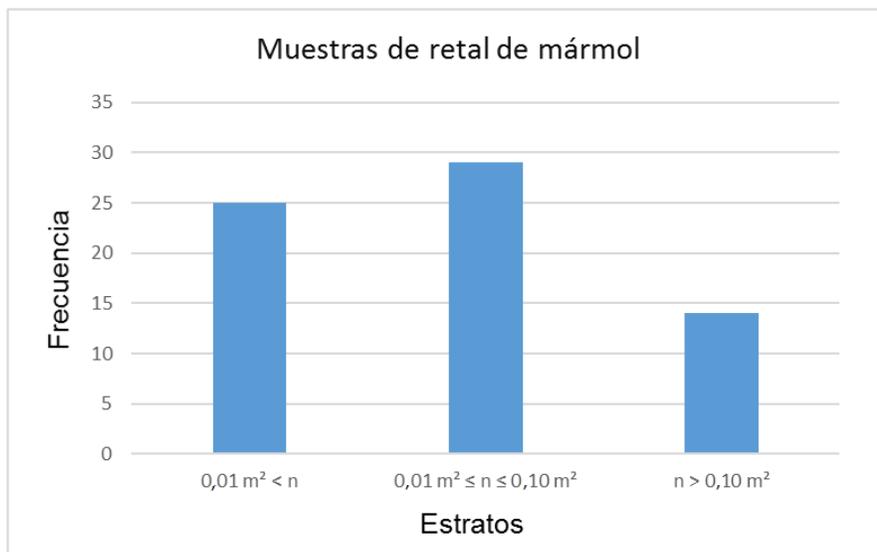
Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Se clasificaron los datos por su magnitud y se anotaron en cada estrato correspondiente, se dispone a representar cada estrato por una barra cuya longitud será proporcional a la magnitud en cada rango, en el eje horizontal se representa el rango en m^2 de cada pieza de retal y en el eje vertical se representa la cantidad de piezas que se encuentran dentro del rango establecido, como a continuación se representa:

El gráfico de resultados, mostrará una pequeña variabilidad entre los tres estratos analizados para la muestra de retal; cuyo estrato con mayor magnitud, es el que contiene las piezas que tienen un área entre el rango de $0,01 \text{ m}^2 \leq n \leq 0,10 \text{ m}^2$, con una frecuencia relativa del 42,65 % del total de los datos; lo que para efectos de la investigación, ayuda en el proceso de trituración, pues como se ha mencionado en la propuesta del diseño, las piezas más factibles para la trituración de retal, son las piezas que se encuentran en el rango de $0,01 \text{ m}^2 \leq n \leq 0,10 \text{ m}^2$. Lo ideal sería que las piezas que sobran de las placas de mármol, sean menores a los $0,01 \text{ m}^2$, ya que esto significaría que sea está aprovechando más del 90 % del material, evitando que se produzca tanto retal y logrando a corto plazo eficiencias en el proceso de fabricación, mejorar la

productividad de los operarios, maximizar la materia prima y minimizar los costos de fabricación.

Figura 64. **Muestras de retal de mármol**



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

4.2. **Gestión de retal de mármol**

Se pretende obtener el polvo de mármol, con el proceso de trituración de retal; se indican los elementos más importantes de cada actividad del proceso, tipo de maquinaria, cómo seleccionar la muestra de polvo y las características que debe poseer el polvo de mármol a gestionar.

4.2.1. **Planta trituradora**

La planta de trituración en donde se realizó la investigación del proceso de trituración de retal de mármol, por políticas de empresa y de calidad, no

puede revelar información sobre su nombre comercial, ni su ubicación, ni costos de fabricación, por tanto, se propone nombrar a la empresa trituradora como Molineros, S.A., para efectos de la investigación.

La planta trituradora consta de tres etapas de trituración: inicia en una trituradora de mandíbulas quebrantadoras; seguido de un molino básico, para terminar en un molino de martillo: trituración primaria, secundaria y terciaria, respectivamente. Molineros, S.A., tritura, además del mármol, otras piedras como granito, cuarzo, piedra blanca y piedra caliza, para obtener diferentes granulados que van desde pedrín de $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{2}$ " y $\frac{1}{4}$ " hasta polvo fino de 0,037 mm.

Figura 65. **Planta de trituración**



Fuente: elaboración propia.

Un alimentador de retal (1) que conecta directamente a la máquina trituradora de mandíbulas (2), se encuentran ubicados al iniciar la línea; la máquina trituradora de mandíbulas se encuentra a 4 m de la superficie de concreto, eso por el peso de la máquina, sumado al peso del retal y que el alimentador de retal debe tener una pendiente hacia abajo, para minimizar el costo de implementar una banda transportadora que conduzca el retal en línea recta o hacia arriba. Una banda transportadora conecta la trituradora de mandíbulas al molino básico (3), ubicado a 4,5 m en dirección perpendicular al alimentador de retal.

El molino básico debe generar fragmentos de retal que el molino de martillo (4) debe reducir de grosor, este molino de martillo ubicado a 3,5 m del molino básico, la banda transportadora que conduce el retal hacia el molino de martillo, transporta el retal ascendentemente, debido a la altura en que se encuentra ubicada la boca del molino de martillo. Finalizando el proceso, se encuentra ubicado un clasificador de malla (5), que se comunica con el molino de martillo a través de una banda transportadora de 3 m de largo, en parte inferior derecha del clasificador de malla, a menos de 1 m de altura, se encuentra ubicado el cernidor de fragmentos de retal (6) que genera el polvo de mármol para su debida inspección y posteriormente empacarlo y almacenar el producto terminado.

4.2.2. Trituración de retal

Se determinó anteriormente, que las muestras más factibles para el proceso de trituración, son las muestras que se encuentran comprendidas entre el rango de $0,01 \text{ m}^2 \leq n \leq 0,10 \text{ m}^2$, esto debido a las características que posee la maquinaria a utilizar en el proceso de trituración, ya que está formada por una alimentador de retal que tiene una dimensión de 200 mm x 1 500 mm, por

consiguiente, el lado más largo de la unidad de retal no debe ser mayor a los 200 mm del ancho del alimentador de retal.

De las 29 piezas de retal comprendidas en el segundo estrato, se selecciona una al azar, si la pieza seleccionada cumple con el requerimiento del ancho del alimentador, se procede a ingresar la pieza a la máquina trituradora, de lo contrario se rechaza y se toma otra muestra aleatoria; de las 29 piezas, 8 fueron rechazadas y 21 piezas se disponen a ingresar a la primera etapa de trituración, divididas en 3 órdenes de trituración; suministrándole a la trituradora un promedio de 4,86 kg de retal por el total de órdenes de trituración.

Figura 66. **Alimentador de retal**



Fuente: elaboración propia.

La trituradora de mandíbulas quebrantadoras, realiza la primera operación de trituración; esta máquina es capaz de recibir piezas de 600 mm –

1 500 mm de grosor y trabajar con una capacidad de 35 t/h; del total de retal suministrado a la trituradora, los fragmentos de retal se reducen hasta más del 15 % de su tamaño original; se alimentó la máquina trituradora con 4,86 kg de retal, piezas de diferentes medidas, de las cuales se obtuvieron fragmentos irregulares de retal de diferentes grosores de 100 mm – 50 mm (ver figura 69) en un tiempo promedio de 15 min.

Figura 67. **Trituradora de mandíbulas quebrantadoras**



Fuente: elaboración propia.

Los fragmentos de retal son llevados hacia una segunda trituración donde los fragmentos de 100 mm – 50 mm se reducen hasta un grosor de 25 mm; el retal se mueve mediante una banda transportadora de 4,5 m de largo, este traslado lleva un tiempo promedio de 2 min, en esta operación se

inspecciona que la banda transportadora no contenga fragmentos de otro piedra u otro material que haya sido residuo de procesos anteriores; sino, debe retirarse todo fragmento que no sea de mármol Travertino Beige.

Figura 68. **Fragmentos de retal generados en la trituración primaria**



Fuente: elaboración propia.

Un molino pequeño hace la función de la trituración secundaria, se reducen los fragmentos de retal hasta un grosor de 25 mm, esta operación lleva un tiempo promedio de 10 min; el molino básico tiene una capacidad de triturar de 5 a 30 toneladas por hora, esto debido a que contiene un motor eléctrico de 10 Kw, que lo hace eficiente y rápido en el proceso; al terminar esta operación, los fragmentos obtenidos, siguen su recorrido en la banda transportadora hacia la tercera y última trituración, esta banda transportadora tiene un largo de 6 m y tardan 3,5 min los fragmentos de retal para llegar a la trituradora de martillo.

Figura 69. **Fragmentos de retal generados en la trituración secundaria**



Fuente: elaboración propia.

En la trituración terciaria, los fragmentos de retal menores de 6 mm se disponen a pasar por una última operación de trituración en el proceso; un molino en forma de cono, cubierto de acero (ver figura 72), desintegra los fragmentos de material por medio de un eje que contiene unos martillos que comprimen los fragmentos a una velocidad de 980 rpm; logran la desintegración de retal deseada; esta operación lleva un tiempo promedio de 12 min y al concluirse se dispone a transportar el retal generado al clasificador de mallas, para la siguiente operación.

Siguiendo con el proceso de trituración de retal, los fragmentos de retal se transportan hacia el clasificador de malla donde se debe seleccionar el tipo de malla a utilizar en la operación de cernido de retal; se ha definido utilizar la *Mesh* 400 que genera polvo granulado en 37 μm y, que para efectos de investigación es la malla más factible por el granulado fino y la composición que se desea obtener en la fabricación de mármol artificial.

Figura 70. **Molino de martillo**



Fuente: elaboración propia.

Seleccionada la malla a utilizar, se dispone a cernir los fragmentos de polvo; para obtener el granulado de polvo deseado, un cernidor vibratorio separa los fragmentos de retal que no pueden ingresar en la abertura de la malla y deposita el polvo granulado de 0,037 mm en los recolectores de polvo correspondientes, esta operación dispone de un tiempo promedio de 15 min por orden de trituración.

Figura 71. **Fragmentos de retal generados en la trituración terciaria**



Fuente: elaboración propia.

Figura 72. **Cernidor de polvo de mármol**



Fuente: elaboración propia.

Realizada la operación de cernido de los fragmentos de mármol generados de la trituración terciaria, se dispone a inspeccionar el polvo de mármol, verificando que no contenga residuos de algún otro material que haya sobrado de procesos anteriores y que no exista polvo generado en el ambiente de la planta trituradora. Debe tenerse mucho cuidado que el polvo de mármol que se haya caído al suelo, no debe recogerse, pues se mezclaría con otras partículas que afectarían en el componente principal de carbonato de calcio y que pueda provocar problemas en la fabricación de mármol artificial.

Figura 73. **Inspección de producto terminado**



Fuente: elaboración propia.

El polvo de mármol a utilizar en el proceso de fabricación de mármol artificial se debe empacar en bolsas plásticas con contenido neto no mayor a 2 kg, para almacenarlo temporalmente en las oficinas administrativas de Formas Geométricas, S.A., para su análisis correspondiente.

4.2.3. Selección de la muestra de polvo

Un total de tres órdenes de trituración fueron generadas para obtener el polvo de mármol Travertino Beige, que servirá en el proceso de fabricación de mármol artificial; en cada orden de trituración se le suministró 7 piezas a la trituradora de mandíbulas; en la primera orden de trituración se suministró 1,57 kg de retal, en la segunda orden 1,40 kg y en la tercera orden de trituración se suministró 1,89 kg de retal, para un total de 4,86 kg en las 21 piezas seleccionadas para el proceso de trituración.

De la primera orden de trituración se obtuvo 1,45 kg de polvo, se perdió 0,12 kg del retal suministrado y un tiempo promedio de 68 min; en la segunda orden de trituración se obtuvo 1,33 kg de polvo de mármol, se perdió 0,07 kg de retal en un tiempo de 62 min; de la tercera orden de trituración se obtuvo 1,69 kg de polvo en un tiempo promedio de 72,5 min y se perdió 0,10 kg de retal suministrado. El diferencial de fragmentos de mármol que no se ve reflejado en el producto terminado es debido a la operación de cernido, donde se separan los fragmentos generados en el molino de martillo del polvo en la selección de malla.

Figura 74. Selección muestra de polvo de mármol

No.	Mesh	Retal (kg)	Mármol	Tiempo (min)	Polvo (kg)
1	400	1,57	Travertino Beige	68,0	1,45
2	400	1,40	Travertino Beige	62,0	1,33
3	400	1,89	Travertino Beige	72,5	1,79

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

La muestra de polvo a utilizar será la de la tercera orden de trituración ya que es la que tiene mayor cantidad y es la que obtuvo una mejor calificación en la operación de inspección. Si en el proceso de fabricación de mármol artificial es necesario obtener otra muestra de polvo, se debe seleccionar el polvo obtenido en la primera orden de trituración, por las especificaciones anteriormente descritas.

4.2.4. Polvo y retal de mármol a utilizar

Se selecciona el polvo de mármol a utilizar y se separa según las ordenes de trituración, como se ha mencionado se debe utilizar una malla No. 400 para obtener el polvo de mármol de granulado 0,037 mm; se seleccionó el retal de mármol para agregarle a la mezcla menor a 0,10 cm para efectos de grosor del piso de mármol artificial.

Figura 75. **Muestra de polvo y retal de mármol**



Fuente: elaboración propia.

Se dispone de 1,89 kg de retal de mármol entre 0,05 y 0,10 cm y de 1,79 kg de polvo de mármol Travertino Beige; se debe tener mucho cuidado con el recipiente donde se almacenará temporalmente el polvo y retal de mármol, debido a que debe estar libre de cualquier sustancia que afecte las propiedades del mármol, si la materia prima no se utilizara en el instante, debe almacenarse en un lugar adecuado y a temperatura ambiente.

4.3. Mármol artificial

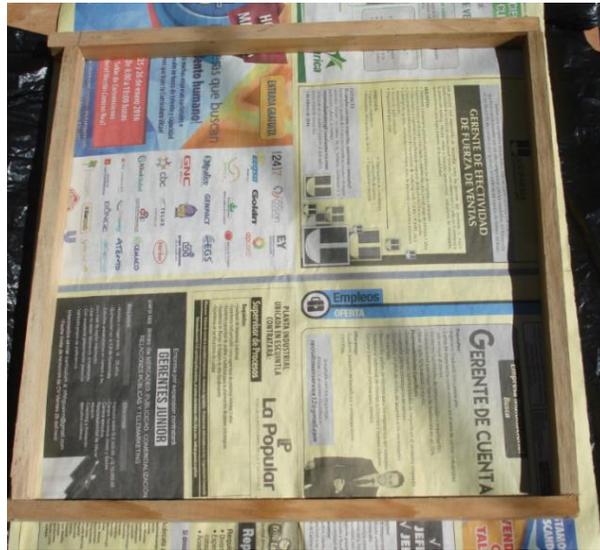
Se pretende fabricar el piso de mármol artificial, teniendo como materia prima, el polvo de mármol Travertino Beige, su composición y características importantes.

4.3.1. Fabricación del mármol artificial

Para la fabricación de piso de mármol artificial, se debe primero fabricar el molde de madera en donde se aplicará la mezcla de mármol artificial; se fabrica el molde con una tabla de madera de (16 X 12 X ½)" como base para la mezcla, sobre esta se colocan 2 reglas de madera de (16 X 2 X ½)" a lo largo y 2 reglas de madera de (12 X 2 X ½)" a lo ancho, formado un área útil de (15 X 15) cm, que es el área que tendrá el piso de mármol artificial.

Se debe colocar papel periódico debajo del molde de madera antes de iniciar la fabricación, debido a que ayuda en la mezcla luego del proceso de secado, la pieza pueda salir fácilmente del molde sin adherirse a los equipos utilizados.

Figura 76. **Molde de madera para piso de mármol artificial**



Fuente: elaboración propia.

Fabricado el molde de madera, se prepara la mezcla de mármol artificial; se propone la siguiente composición para la mezcla, con las proporciones de cemento, polvo de mármol, agua y colorante en polvo:

$$Mz(x) = 0,5 \text{ kg cemento } (X) + X \text{ kg polvo} + 0,5 \text{ kg agua } (X) + 0,11 \text{ kg pigmento } (X)$$

Donde:

- Mz: mezcla a fabricar
- X: polvo de mármol

Se inicia el proceso de fabricación, preparando la cantidad de cemento y polvo de mármol Travertino Beige a utilizar; se propuso preparar 1,5 kg de polvo de mármol por cada piso a fabricar; por cada kg de polvo de mármol, se debe

preparar 0,5 kg de cemento portland, 0,5 kg de agua (0,5 litros) y 0,11 kg de pigmento en polvo color beige por los 1,5 kg de polvo de mármol; sustituyendo la cantidad de polvo de mármol a utilizar en la fórmula de composición, se obtiene la siguiente mezcla:

$$Mz(x) = 0,5 \text{ kg cemento } (X) + X \text{ kg polvo} + 0,5 \text{ kg agua } (X) + 0,11 \text{ kg pigmento } (X)$$

$$\text{Si } X = 1,5$$

Entonces:

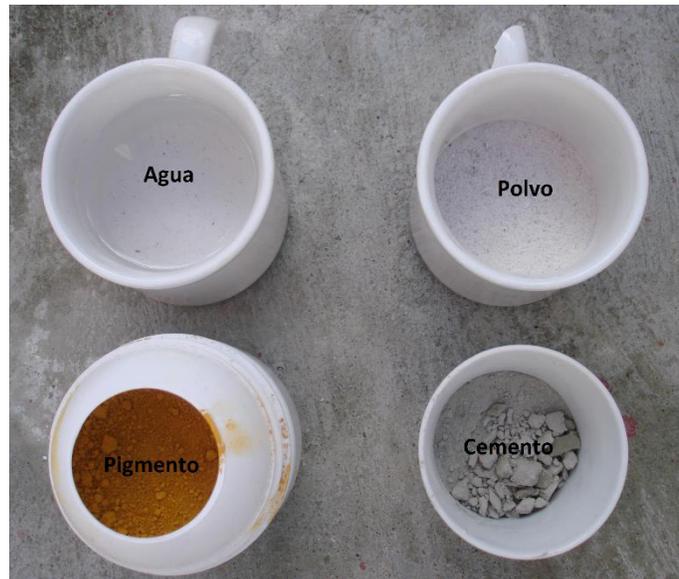
$$Mz(x) = 0,5 \text{kg cemento } (1,5) + 1,5 \text{kg polvo} + 0,5 \text{kg agua } (1,5) + 0,11 \text{kg pigmento } (1,5)$$

$$Mz(x) = (0,75 \text{ kg} + 1,5 \text{ kg} + 0,75 \text{ kg} + 0,17 \text{ kg}) = 3,17 \text{ kg}$$

La mezcla del nuevo material tendrá una composición de 3,17 kg con todos los materiales y 1,5 kg de mármol artificial; preparar estos insumos lleva un tiempo promedio de 30 min por piso fabricado.

Definida la composición de la mezcla de mármol artificial, se inicia la operación de la mezcla de insumos; esta operación lleva un tiempo promedio de 20 min, se mezcla con una cuchara que se utiliza en la construcción; realizada la mezcla de los insumos, se debe aplicar la mezcla sobre el molde de madera; se aplica la mezcla sobre toda la superficie del molde; posteriormente, se nivela la mezcla, inspeccionando que la mezcla quede debidamente nivelada; estas operaciones no llevan más de 35 min promedio por piso a fabricar.

Figura 77. **Insumos para la fabricación de mármol artificial**



Fuente: elaboración propia.

Figura 78. **Mezcla de insumos y nivelación de mezcla**



Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que cuando la pieza de mármol artificial a fabricar es mayor a 1 m², se debe reforzar la pieza con varillas de hierro de ¼" de grosor para reforzar las piezas y evitar fisuras y quebraduras en los materiales por sus propiedades.

Posteriormente, se rectifica la mezcla de mármol y se inspecciona que no se le haya adherido alguna partícula que se encuentre en el ambiente y pueda afectar la composición del mármol artificial; rectificada la mezcla, se dispone a colocar el molde en lugar fresco para dar inicio a la operación de secado de la pieza; esta operación es la que mayor tiempo lleva en el proceso de fabricación, pues se realiza en un tiempo estimado de 72 h por piso de mármol cabe destacar que durante este tiempo, se pueden fabricar más pisos de mármol artificial, según el requerimiento de las ordenes de fabricación.

Figura 79. **Secado de la mezcla**



Fuente: elaboración propia.

Cuando la pieza de mármol artificial ha secado por completo, se dispone a retirarla del molde y se inspecciona la pieza obtenida; se dispone a pulir la pieza obtenida para retirar toda aspereza y filos que tenga el piso de mármol en todo su contorno, esto se realiza con una pulidora y copas diamantadas para pulir concreto y mármol, esta operación se lleva un tiempo aproximado de 20 min por piso de mármol.

Realizada la operación de pulido de piso, se dispone a brillar la pieza, con pulidora y con lijas de diferentes grosores, esto para retirar toda residuo que haya generado la operación de pulido sobre la pieza y para darle principalmente brillo al piso de mármol artificial; cabe destacar que es importante definir la cara del piso de mármol, siendo esta la que queda descubierta del molde; la operación de brillo del piso de mármol artificial, lleva un tiempo promedio de 20 min por piso fabricado.

Figura 80. **Pulido de piso de mármol artificial**



Fuente: elaboración propia.

Figura 81. **Brillado de piso de mármol artificial**



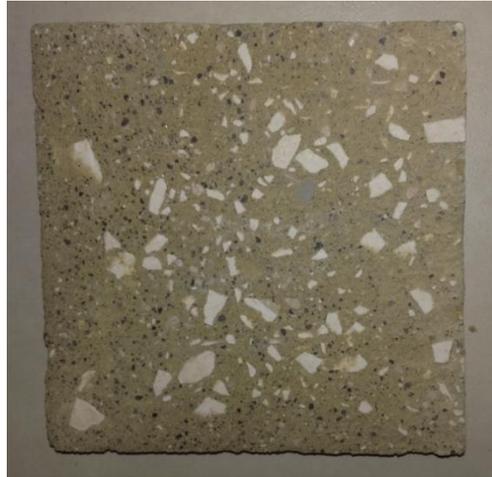
Fuente: elaboración propia.

Para finalizar el proceso de fabricación, se inspecciona el producto terminado revisando que no haya residuos, fisuras, asperezas, filos en el piso de mármol artificial; queda el producto terminado para su utilidad.

4.3.2. Características del material

El nuevo material fabricado debe reunir ciertas características propuestas para ser definido como subproducto de mármol; debe tener una dimensión de 15 X 15 cm y un grosos de 0,02 cm, con al menos 1,5 kg de polvo de mármol como materia prima principal; por cada 1,5 kg de polvo de mármol, se debe incluir 0,5 kg de cemento y 0,5 kg de agua, para darle el estilo único y el toque rústico se agregan fragmentos de retal de mármol de menos de 0,10 cm, su tonalidad varía según el colorante que se le aplique en la fabricación.

Figura 82. **Características de piso de mármol artificial**



Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Calidad del material

Para efectos de investigación, se ha diseñado un piso de mármol artificial con formato de fabricación de 15 X 15 cm y grosor de 0,02 cm, pensando en la decoración de pisos de jardín, no solo por su decoración sino que es un área donde no existe mucho movimiento ni cargas que puedan dañar el piso fabricado; para la calidad del producto fabricado se debe medir con base en el cumplimiento de ciertos atributos respetando el formato de fabricación: el piso no debe tener despuntes en sus bordes ni grietas, no debe tener defectos en la cara principal, con un pulido y brillo impecable para evitar así que el subproducto de mármol no presente defectos como producto terminado.

Se propuso medir el piso de mármol artificial con el cumplimiento de ciertos atributos de calidad y medir el proceso de fabricación con un gráfico de

control de tipo np para determinar el número de pisos defectuosos que no cumplan con los siguientes atributos de calidad:

Tabla XXII. **Atributos de calidad piso de mármol artificial**

No.	Atributo	Criterio	Resultado
1	Agrietamiento	Sí – No	Cumple o no cumple
2	Despunte	Sí – No	Cumple o no cumple
3	Porosidad	Superficial – Profunda	Cumple o no cumple
4	Aspereza	Cara principal – bordes	Cumple o no cumple
5	Tonalidad	Según orden fabricación	Cumple o no cumple
6	Brillo	Sí – No	Cumple o no cumple

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

El objetivo principal de un gráfico de control es observar y analizar el comportamiento de un proceso a través del tiempo, esto podrá determinar en qué puntos del proceso se necesita realizar una acción de mejora continua. Existen tres líneas paralelas el eje horizontal donde se identifica la procedencia de los datos: la línea central representa el promedio estadístico que se está graficando cuando el proceso se encuentra en el límite específico de fabricación, las otras dos líneas representan los límites superior e inferior; de tal manera que el proceso se debe de mantener dentro de los límites de control para determinar que el proceso de fabricación de pisos de mármol artificial se encuentra en control estadístico; caso contrario, si existe un punto de los datos analizados, se encuentra fuera de los límites de control, entonces es señal que algo pasa en el proceso de fabricación de pisos.

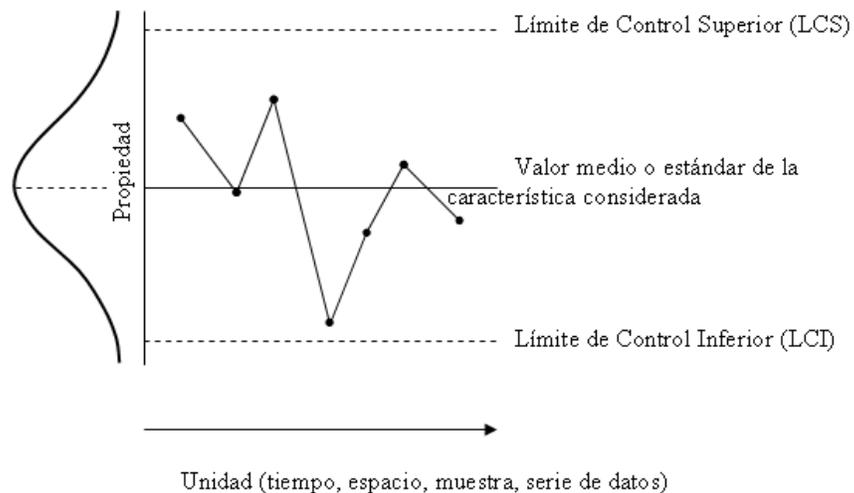
Donde:

- n: tamaño de la muestra
- m: total de ordenes fabricación
- d: número de unidades defectuosas en cada muestra
- p: proporción de piezas defectuosos por muestra ($p = d / n \cdot m$)
- LCS: límite de control superior
- LCI: límite de control inferior
- LCC: límite de control central

Entonces:

- LCS: $np + [3 \sqrt{np(1-p)}]$
- LCC: np
- LCI: $np - [3 \sqrt{np(1-p)}]$

Figura 83. **Esquema de un gráfico de control**



Fuente: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo: ingeniería de métodos y medición del trabajo*. p. 442.

4.3.4. Control de calidad del subproducto

De una tanda de fabricación se realizaron 6 órdenes con 10 unidades de piso de mármol artificial cada una con los siguientes resultados:

Tabla XXIII. Unidades defectuosas control de calidad

No. Orden	Unidades fabricadas	Producto terminado	Unidades defectuosas	Especificación de los defectos
1	10	8	2	Agrietado y despuntes
2	10	9	1	Porosidad profunda
3	10	4	1	Despuntes en bordes
4	10	3	2	Porosidad profunda
5	10	7	1	Tonalidad incorrecta
6	10	9	1	Sin brillo, sin pulir bordes

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Se especifican las unidades fabricadas en cada orden y se determina cuántas unidades salen defectuosas y cuántas unidades se consideran como producto terminado que cumplen con los atributos de calidad.

Obtenidos los resultados, se dispone a calcular la proporción de unidades defectuosas de cada muestra; el tamaño de muestra y el número de unidades defectuosas son los siguientes:

- $n = 30$
- $d = 8$

Entonces:

- $p = d / n * m$
- $p = 8 / 5 * 6$
- $p = 0,27$

Por consiguiente, la proporción de número de unidades defectuosas es de 0,27; ahora se dispone a calcular los límites central, superior e inferior que se verán representados en el gráfico de control:

- LCS: $np + [3 \sqrt{np(1-p)}]$
- LCS: $(5 * 0,27) + [3 \sqrt{(5 * 0,27)(1 - 0,27)}]$
- LCS: $1,35 + 3 \sqrt{(1,35)(0,73)}$
- LCS: $1,35 + 3 \sqrt{(0,98)}$
- LCS: $1,35 + 3(0,99)$
- LCS: $1,35 + 2,97 = 4,32$

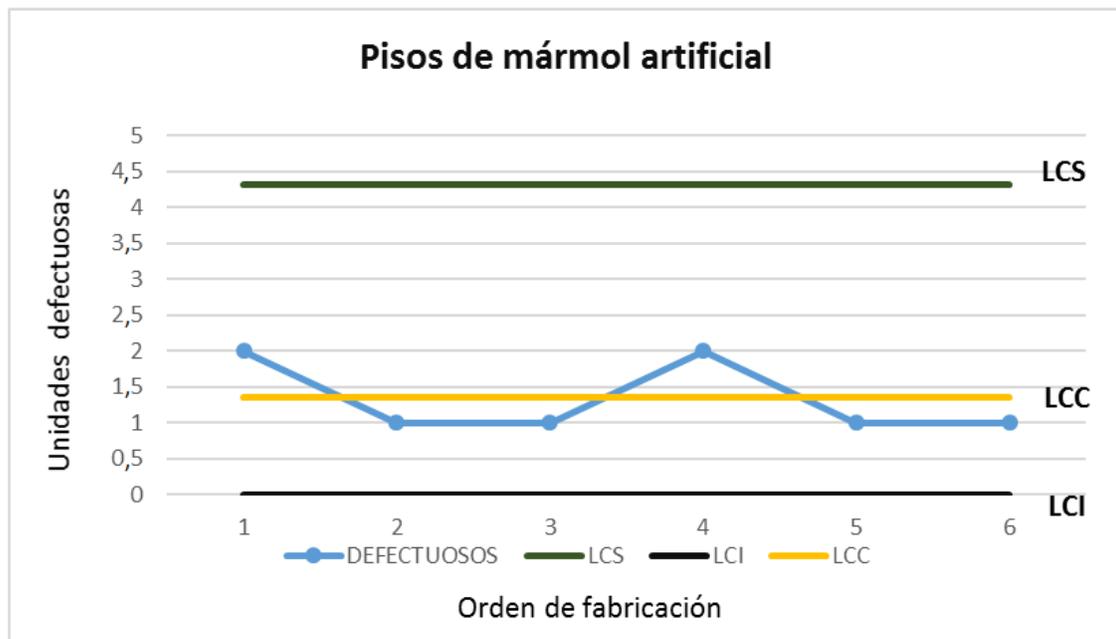
- LCC: np
- LCC: $(5 * 0,27) = 1,35$

- LCS: $np - [3 \sqrt{np(1-p)}]$
- LCS: $(5 * 0,27) - [3 \sqrt{(5 * 0,27)(1 - 0,27)}]$
- LCS: $1,35 - 3 \sqrt{(1,35)(0,73)}$
- LCS: $1,35 - 3 \sqrt{(0,98)}$
- LCS: $1,35 - 3(0,99)$
- LCS: $1,35 - 2,97 = -1,62 \approx 0$

Se puede determinar entonces, que el límite por el cual el proceso de fabricación de superficies y acabados se encuentra en control estadístico y cumple con las especificaciones del cliente y los atributos de calidad del piso de mármol artificial. Son los límites superior 4,32 u e inferior 0 u (no se proponen

valores negativos en los procesos), donde tienen que estar el producto para considerarse aceptable y cumpla con las expectativas del cliente.

Figura 84. **Gráfico de control pisos de mármol artificial**



Fuente: elaboración propia utilizando Excel 2013.

Como se puede observar en el gráfico, se establecen los límites de control, paralelos al eje horizontal donde las unidades de piso de mármol artificial que no cumplen los atributos de calidad se ven reflejados entre el límite superior e inferior; se puede determinar que mejoras se proponen al proceso de fabricación.

4.3.5. Interpretación de los resultados

Los límites de control indican qué tanto varía la cantidad esperada de unidades defectuosas de pisos de mármol artificial, pues se espera que de cada 5 muestras tomadas de una orden de fabricación de 10 unidades, el número de unidades defectuosas oscilen entre 0 y 4,32 unidades con un promedio de 1,35 de pisos defectuosos.

El proceso de fabricación de pisos de mármol artificial es estable, puesto que el número de unidades defectuosas se mantienen cerca del límite de control central, es decir, los pisos fabricados cumplen los atributos de calidad propuestos; además, por ser un proceso de operaciones manuales, la calidad del producto se mide en términos de ocurrencia de defectos para establecer si pasa a ser producto terminado de calidad o simplemente no pasa.

Cabe destacar que cuando las órdenes de fabricación junto con la muestra a tomar aumenten, el proceso pueda que tienda a ser menos estable, debido a esto es importante generar acciones de corrección para evitar que las unidades de piso de mármol artificial sean demasiado grandes y provoquen que nuestro proceso sea inestable y por consiguiente no lograr la satisfacción del cliente. Se recomienda diseñar un plan de acción de mejora continua para establecer que los atributos de calidad se cumplan y utilizar un gráfico np, para medir nuestro proceso y elegir un tamaño de muestra constante.

Para darle mayor durabilidad y calidad al piso de mármol artificial, se puede tratar con líquidos químicos como selladores que tienen como objetivo penetrar en los poros de la piedra y sellarlos para evitar que penetre agua provocados por la lluvia u otro líquido que afecte la calidad del producto, además, evita que le entre suciedad y le da una tonalidad más fuerte que lo

normal. El piso de jardín es vistoso, elegante, llamativo; se pueden crear muchas opciones de pisos decorativos, además, mosaicos que le den valor a un espacio comfortable.

4.4. Costos de fabricación

Fabricado el piso de mármol artificial, se dispone a calcular el costo de fabricación.

4.4.1. Costo de fabricación piso mármol artificial

Se ha fabricado un piso de mármol artificial de 15 X 15 cm como subproducto del desperdicio de mármol, que se obtiene en el proceso de fabricación de superficies y acabados en la empresa Formas Geométricas, S.A., como muestra que se puede obtener beneficio de lo que aparentemente se determina como descarte que no generan ningún valor al proceso de fabricación; para lo cual se necesita saber el costo de fabricación de este nuevo piso de mármol artificial.

4.4.1.1. Costo de mano de obra directa

Para fabricar un piso de mármol artificial y para efectos de investigación, se necesitan al menos de 4 operarios; el tiempo de fabricación del piso de mármol artificial tiene una relación directamente proporcional al número de operarios que se dispongan para generar diferentes líneas de fabricación.

El sueldo de los operarios es de Q. 15,00 por unidad fabricada; se tomaron tiempos de fabricación para un piso de mármol artificial y el resultado fue más del doble del tiempo para fabricar pisos de mármol natural en una jornada de 8 h, entre la mezcla de los insumos; es importante definir que para

efectos de investigación no se tomaron los tiempos de secado de 72 hrs, debido a que se pueden fabricar el número deseado de pisos en paralelo y se puede obtener el tiempo de secado para el mismo número de pisos a fabricar; producto de lo anterior descrito, se obtienen los siguientes datos:

Tabla XXIV. **Datos M.O.D. piso de mármol artificial**

Pisos	Material	t. fabricación	# operarios	Salario /operario	Jornada
1 u	0,0225 m ²	1 h	4	Q. 20,00/m ²	Diurna 8 h

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Se realiza el cálculo de mano de obra directa, para lo cual se aplicará la siguiente fórmula:

$$\text{Costo M.O. D.} = (\text{material} * \text{salario/operario} * \# \text{ operarios})$$

Por unidad fab.

Sustituyendo los valores de la tabla en la fórmula:

$$\text{Costo M.O. D.} = (0,0225\text{m}^2 * \text{Q. } 15,00/\text{m}^2 * 4 \text{ operarios}) = \text{Q. } 1,35/\text{u}$$

Por unidad fab.

Se concluye que el costo de mano de obra directa por fabricar un piso de mármol natural es de Q. 1,35. Cabe destacar, que el salario del operario puede variar según acuerdo con el patrono, por condiciones como el tiempo de fabricación y la dificultad del trabajo realizado.

4.4.1.2. Costo de mano de obra indirecta

Asumiendo que se cuenta con el mismo personal administrativo, un supervisor de planta devenga un sueldo de Q. 3 500/mes para obtener los siguientes datos:

Tabla XXV. Datos M.O.I. piso de mármol artificial

Pisos	Sueldo supervisión	t. fabricación	Jornada
1 u	Q3 500	1 h	Diurna 8 h

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Se calcula el sueldo del supervisor de planta y la ejecutiva de ventas, con base en el tiempo promedio que dura el proceso de fabricación, por un piso de mármol natural, por lo que se utilizan las siguientes fórmulas:

$$\text{Costo M.O.I.} = \left[\begin{array}{l} \text{Sueldo de supervisión} + \text{Sueldo de ventas} \\ \text{Por unidad fab} \quad \text{por unidad fabricada} \quad \text{por unidad fabricada} \end{array} \right]$$

$$\text{Sueldo supervisión} = \left[\frac{\text{Sueldo mensual} / 30 \text{ días}}{8 \text{ h}} \right] * \text{Tiempo promedio proceso fabricación}$$

Por unidad fab.

Posteriormente se sustituyen los valores definidos en la tabla en las fórmulas propuestas:

$$\text{Sueldo supervisión} = \left[\frac{\text{Q. 3 500} / 30 \text{ días} * 1 \text{ h}}{8 \text{ h}} \right] = \text{Q. 14,58}$$

Se concluye entonces, que el costo de mano de obra indirecta por cada piso de mármol artificial a fabricar es de Q. 14,58.

4.4.1.3. Costo de materia prima

En la fabricación del piso de mármol artificial, la materia prima el polvo de mármol producto del proceso de trituración del desperdicio de las placas de mármol; el costo del mármol triturado es de Q. 3,50/kg y para la fabricación del piso, se ha propuesto utilizar 1,5 kg de polvo, por lo que el costo de materia prima, sería el siguiente:

$$\begin{array}{l} \text{Costo piso mármol} = \left[\frac{\text{Costo kg polvo mármol}}{1 \text{ kg}} \right] * \text{kg polvo mármol} \\ \text{Por unidad fab.} \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{mezcla} \end{array}$$

Sustituyendo los valores:

$$\begin{array}{l} \text{Costo piso mármol} = \left[\frac{\text{Q. 3,50}}{1 \text{ kg}} \right] * 1,5 \text{ kg} = \text{Q. 5,25} \\ \text{Por unidad fab.} \end{array}$$

Se determina entonces que el costo de materia prima por piso de mármol artificial es de Q. 5,25.

4.4.1.4. Gastos indirectos de fabricación

Entre los gastos indirectos de fabricación se considera el alquiler de la planta de fabricación, la energía eléctrica, los insumos que le dan valor a la materia prima y el mantenimiento de la maquinaria y herramientas.

Se estima que el alquiler de la planta de fabricación es Q 2 500/mes, por lo que el alquiler por el tiempo de fabricación del piso de mármol natural, se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Gasto de alquiler} = \left[\frac{(\text{Alquiler/mes}) / 30}{24 \text{ h}} \right] * \text{Tiempo promedio} \\ \text{Por unidad fab.} \quad \text{proceso fabricación}$$

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Gasto de alquiler} = \left[\frac{Q 2 000 / 30 * 1}{24 \text{ h}} \right] \text{h} = Q. 2,77/\text{u} \\ \text{Por unidad fab.}$$

Se define que el costo de alquiler por la fabricación de 1 piso de mármol artificial es de Q. 2,77.

Para el costo de energía eléctrica, se estima que el uso de la pulidora para la operación de pulido y brillo del piso de mármol artificial genera un costo de Q. 1,88; debido a la región donde se encuentra la planta de fabricación ya que esa tarifa es fijada por la empresa eléctrica, por el rango de 101 kw a 300 kw.

Entre los insumos que le dan valor agregado al piso de mármol artificial se sé encuentran la cemento, pigmento de color, agua que suman un total de Q. 1,50 /u y entre el costo de mantenimiento de maquinaria se estima una depreciación de la máquina de corte y las pulidoras de tallado, pulido y brillo de Q. 0,50/u.

El costo de los gastos indirectos de fabricación, sería el siguiente:

Costo G.I.F. = Costo + Costo + Costo + Costo
Por unidad fab. alquiler energía eléctrica insumos mantenimiento

Costo G.I.F. = Q. 2,77 + Q. 1,88 + Q. 1,50 + Q. 0,50 = Q. 6,65

Por unidad fab.

4.4.1.5. Costo total de fabricación

Definidos los costos de M.O.D., M.O.I., M.P. y G.I.F.; se dispone a calcular el costo total de fabricación por cada piso de mármol artificial:

Costo de fabricación = Costo M.O.D. + Costo M.O.I + Costo M.P. + G.I.F.

Piso mármol

Sustituyendo los valores de cada costo, se obtiene el siguiente resultado:

Costo de fabricación = Q. 1,35 + Q. 14,58 + Q. 5,25 + Q. 6,65 = Q 27,83

Piso mármol

Se concluye que el costo de fabricación de un piso de mármol artificial de dimensiones 15 X 15 cm, es de Q. 27,83; para poder fijar un precio de venta de Q. 60,00/u y obtener una ganancia de Q. 32,17/u.

5. ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

5.1. Producción más limpia

Para realizar un análisis de impacto ambiental es importante argumentar nuestra investigación con los conceptos de producción más limpia e involucrar a los actores que ejercen este concepto en Guatemala.

5.1.1. Antecedentes

El concepto de producción más limpia fue introducido por la oficina de Industria y Medio Ambiente del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1989, como respuesta a la pregunta: ¿Cómo la industria podría avanzar hacia un desarrollo sostenible?

Parte de los esfuerzos de los países por promover un desarrollo y consumo sustentable de forma globalizada la constituyó la realización de la conferencia de las Naciones Unidas sobre el tema de ambiente y desarrollo, conocida más comúnmente como Cumbre para la Tierra, llevada a cabo en Brasil en 1992. Los países participantes acordaron adoptar un enfoque de desarrollo que protegiera el medio ambiente, mientras se aseguraba el desarrollo económico y social se aprobó la agenda 21: un plan de acción que tiene como finalidad metas ambientales y de desarrollo sostenible como una estrategia para mejorar el desempeño ambiental, mientras se obtienen beneficios económicos y sociales.

5.1.2. Definición

Producción más limpia se define como “la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia en general, y reducir los riesgos para los seres humanos.

Para el caso de los procesos productivos, la producción más limpia se orienta hacia la conservación de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas, y la reducción de la cantidad y toxicidad de las emisiones y desechos contaminantes. En el caso de los productos, se orienta hacia la reducción de los impactos negativos que acompañan el ciclo de vida del producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. En los servicios, la producción más limpia se orienta hacia la incorporación de la dimensión ambiental, tanto en diseño como en prestación.

La producción más limpia es un concepto que pretende prevenir que la contaminación ocurra, maneja el impacto ambiental del proceso completo de producción, no solamente los impactos de las salidas; analiza las causas fundamentales de los problemas ambientales, en lugar de sus efectos, a través de un paquete integrado de mejoras en todas las etapas del proceso y el ciclo de vida del producto. Por lo tanto, producción más limpia elimina o minimiza la necesidad de sistemas de mitigación, tratamiento y de disposición de desechos. Además, motiva la innovación y el diálogo entre actores; elimina los intercambios negativos entre el crecimiento económico y el ambiente; contribuye a la seguridad del consumidor y del trabajador.

“La producción más limpia no debe considerarse sólo como una estrategia ambiental, porque también se refiere a consideraciones económicas.

En este contexto, el desperdicio se considera un producto con valor económico negativo. Cada acción para reducir el consumo de materias primas y energía y prevenir o reducir la generación de desperdicios incrementa la productividad y obtiene beneficios financieros para la empresa.”⁹

5.1.3. Avances de la producción más limpia

Los avances en materia de programas y políticas de producción más limpia se han adelantado en Centroamérica, en los últimos cinco años, como aplicaciones de los lineamientos, objetivos y compromisos que se establecieron en la Cumbre de la Tierra de 1992 que fueron enunciados nuevamente en la Cumbre del Milenio de 2000. En la región Centroamericana, lo relacionado a la formulación y desarrollo de políticas de producción más limpia ha tenido avances; y en algunos casos, han llegado a la aprobación e implementación de estas políticas, como lo es el caso de Nicaragua y El Salvador.

Adicionalmente, a nivel regional, la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) formuló la política regional de producción más limpia, cuyos programas ya han sido aprobados por el Consejo de Ministros de Ambiente de los países de la región. Esta política está sustentada en la agenda para la competitividad y el desarrollo sostenible, teniendo sus orígenes en la declaración de los presidentes de los países centroamericanos con la firma de la Alianza para el Desarrollo Sostenible de Centroamérica (ALIDES); y en la iniciativa latinoamericana para el desarrollo sostenible, presentada en la Cumbre de Johannesburgo; donde, los países de la región, declaran la necesidad de incorporar conceptos de producción más limpia en las industrias,

⁹ Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Política nacional de producción más limpia*. p. 50.

crear nacionales de producción más limpia y trabajar en pos de un consumo sustentable.

En el plan de implementación de la Cumbre de Johannesburgo se pone en evidencia la importancia que tiene la transformación de los actuales patrones de producción y consumo para la búsqueda de la sostenibilidad. Esto también se refleja en el reciente planteamiento estratégico Programa Ambiental Regional para Centroamérica (PARCA), para el período 2005-2015, donde la producción más limpia representa una de las áreas estratégicas de la línea temática: prevención y control de la contaminación.

5.2. Producción más limpia en Guatemala

5.2.1. Antecedentes

A finales de los años 90, en Guatemala se desarrollaron iniciativas tendientes a sensibilizar a las empresas sobre los beneficios de la producción más limpia, pero estos esfuerzos fueron esporádicos y dispersos sin llegar a tener la repercusión deseada. En 1999, con apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), el Gobierno de Suiza, la Cámara de Industria de Guatemala (CIG), la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), la Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA) y otras entidades nacionales, se fundó el Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia (CGP+L), como una respuesta a la necesidad de apoyar a las empresas del sector privado interesadas en producción más limpia. Hasta la fecha, esta unión de esfuerzos ha permitido la transferencia de conocimientos y el intercambio de experiencias de producción más limpia entre varias instituciones.

5.2.2. Avances

Hoy en día, como resultado de las diferentes actividades de promoción e implementación de producción más limpia, más de 150 empresas en Guatemala, entre pequeñas, medianas y grandes empresas, han aplicado voluntariamente la metodología de producción más limpia. Algunos de los sectores participantes han sido: tenerías, producción de bebidas y alimentos, beneficiado húmedo de café, mataderos, ingenios, hoteles, metalmecánica, entre otros. Así mismo, se han capacitado más de 200 personas en producción más limpia, y concientizado a más de 5 000 representantes de sectores productivos, gobierno, academia, consultores, profesionales y estudiantes.

A los esfuerzos realizados en las empresas, se han unido universidades a través de la incorporación del concepto y metodología de producción más limpia en los cursos que se imparten en diferentes carreras y maestrías, con el fin de que los profesionales del mañana, tengan la visión de prevención para la gestión ambiental.

La cooperación internacional también ha unido esfuerzos para la promoción y aplicación de producción más limpia en Guatemala, a través del financiamiento de proyectos. Por mencionar algunos: en 1999, se lleva a cabo el proyecto Empresas más Limpias y Competitivas de Guatemala, con el objetivo principal de crear la capacidad nacional de enfrentar los retos de un desarrollo sostenible. Dicho proyecto fue ejecutado por la Cámara de Industria de Guatemala, contando con el financiamiento de la Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional (ASDI).

“En el 2000, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente apoyó el proyecto Inversión en Producción más Limpia; en el año 2002, USAID

financió, por medio de PROARCA-SIGMA (Sistema de Gestión para el Medio Ambiente); Programa Ambiental Regional para Centroamérica (PROARCA) y Sistemas de Gestión para el Medio Ambiente (SIGMA); la asistencia técnica para la aplicación de producción más limpia en el sector de beneficiado húmedo de café, uno de los resultados de este proyecto fue una guía de producción más limpia para este sector; en 2004, el Banco Interamericano de Desarrollo y el Fondo Multilateral de Inversiones aprobaron y financiaron el proyecto Promoción de Producción más Limpia y Sistemas de Gestión Ambiental, dirigido a pequeñas y medianas empresas guatemaltecas.”¹⁰

5.2.3. Actores involucrados

5.2.3.1. Centro Guatemalteco de Producción más Limpia

5.2.3.1.1. Historia y objetivos

El Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia (CGP+L) es una institución técnica sin fines de lucro que fue establecida el 15 de julio de 1999 y constituida como una fundación el día 13 de agosto de 2007 a través del Acuerdo Ministerial No. 1345–2007. El CGP+L fue creado con el apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), la Secretaria de Asuntos Económicos de Suiza (SECO) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA); con el apoyo de instituciones nacionales tales como Cámara de Industria de Guatemala.

¹⁰ Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Política nacional de producción más limpia*. p. 50.

El CGP+L es creado en el año 1999 con el apoyo internacional de ONUDI y SECO y a nivel nacional por la Cámara de Industria de Guatemala. En el año 2002 inicia las primeras actividades técnicas en empresas nacionales. Con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo y el Fondo Multilateral de Inversiones (BID-FOMIN); el principal proveedor de asistencia técnica para el sector privado en América Latina y el Caribe, se inicia la ejecución del proyecto con el cual se logra atender a 47 PYMES (pequeñas y medianas empresas) nacionales.

En 2007 se crea la Fundación CGP+L obteniendo su personería jurídica como fundación. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), firma en el 2008 un convenio de cooperación con el CGP+L, siendo el MARN el aliado más activo en el sector público. En el año 2012 el MARN aprueba la propuesta de política nacional de producción más limpia del CGP+L. Actualmente el CGP+L ha apoyado.

Figura 85. **Logo del Centro Guatemalteco de Producción más Limpia**



Fuente: Centro Guatemalteco de Producción más Limpia. www.cgpl.org.gt/. Consulta: 18 de marzo de 2016

Actualmente, el CGP+L es la institución referencia en el tema de producción más limpia en Guatemala; tiene una experiencia técnica importante en la mejora de la competitividad y desempeño ambiental del sector industrial y otros sectores como el público y la academia. El CGP+L se encuentra ubicado en la ruta 6, 9-21 zona 4 edificio Cámara de Industria de Guatemala.

El objetivo principal del CGP+L es desarrollar y proveer las condiciones necesarias, fomentar la capacidad local en la aplicación de producción más limpia y temas relacionados; contribuye con la eficiencia, competitividad, compatibilidad ambiental y desarrollo social de las organizaciones privadas y públicas a nivel nacional, entre los objetivos específicos del CGP+L están:

- Promover el concepto de producción más limpia y su aplicación.
- Difundir información de casos exitosos en producción más limpia.
- Trabajar en función de la experiencia y necesidades de la industria nacional.
- Identificar oportunidades de transferencia de tecnología.

5.2.3.1.2. Guía práctica para el manejo de residuos en el sector público guatemalteco

Esta guía práctica para el manejo de residuos en el sector público guatemalteco tiene como propósito proveer a los funcionarios públicos encargados de la gestión ambiental de sus instituciones una serie de medidas orientadas a la mejora de la gestión de los residuos.

Después de sensibilizar brevemente sobre los impactos que tiene el manejo inadecuado de los residuos en el medio ambiente, esta guía ofrece una

serie de recomendaciones que, agrupadas en un plan o programa de manejo de residuos, llevará a minimizar su impacto en el ambiente.

En este documento se presentan, además, casos exitosos implementados en instituciones públicas del país y ejemplos de productos y tecnologías actualmente disponibles en el mercado guatemalteco.

5.2.3.1.3. Norma técnica de producción más limpia

La norma técnica de producción más limpia es una norma guatemalteca que especifica los requisitos y procedimientos para el establecimiento de un acuerdo voluntario de producción más limpia entre el sector público y el sector privado.

Estableciendo las etapas de desarrollo, implementación y verificación de un acuerdo voluntario de producción más limpia, así como los principios, objetivos y roles de todos los actores involucrados.

Además, la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el organismo nacional de normalización. COGUANOR, adscrita al Ministerio de Economía, cuyo objetivo es proporcionar soporte técnico a los sectores de producción y de servicios y protección al consumidor, por medio de la actividad de normalización que da apoyo a los sectores público y privado, ha homologado las normas internacionales pertinentes. Este proceso de elaboración de normas se realiza por medio de Comités Técnicos de Normalización (CTN) en los que se invita a participar a todos los sectores interesados.

5.2.3.1.4. Reporte nacional de residuos

El objetivo primordial de éste reporte es identificar y evaluar las oportunidades económicas potenciales para el reciclaje, reúso y disposición final de los residuos industriales generados a nivel nacional. Al mismo tiempo, se pretende promover un sistema de monitoreo y comercialización de los residuos a nivel nacional y regional. Esta iniciativa será crucial para el establecimiento de políticas y estrategias nacionales y regionales para el reciclaje y reúso como parte de las buenas prácticas de gestión ambiental.

También, proporcionará importantes incentivos para trabajar hacia las metas de los convenios de Estocolmo, Basilea y Róterdam relacionados con los químicos peligrosos. Las estrategias de producción más limpia pueden contribuir a eliminar los contaminantes orgánicos persistentes, COP's (considerados en el Convenio de Estocolmo), reducir los movimientos transfronterizos y la necesidad de su eliminación (considerados en el Convenio de Basilea) y su comercialización (considerado en el Convenio de Róterdam).

5.2.3.2. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

5.2.3.2.1. Definición y objetivos

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) es la entidad del sector público especializada en materia ambiental y de bienes y servicios naturales del sector público; le corresponde proteger los sistemas naturales que desarrollen y dan sustento a la vida en todas sus manifestaciones y expresiones, fomentando una cultura de respeto y armonía con la naturaleza y protegiendo, preservando y utilizando racionalmente los recursos naturales, con

el fin de lograr un desarrollo transgeneracional, articulando el quehacer institucional, económico, social y ambiental, con el propósito de forjar una Guatemala competitiva, solidaria, equitativa, inclusiva y participativa.

Entre los principales objetivos del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales se encuentran los siguientes:

- Cumplir y hacer cumplir el régimen jurídico del ambiente y de los recursos naturales, dirigiendo las funciones generales asignadas al Ministerio y especialmente, de las funciones normativas de control y supervisión.
- Conservar, prevenir, proteger y restaurar la calidad ambiental y los recursos naturales; considera especialmente los temas relacionados con energía para el desarrollo sostenible, manejo racional y sostenible de los recursos naturales (principalmente el agua), la biodiversidad, las amenazas, vulnerabilidad y riesgo, la valoración y pago de bienes y servicios ambientales; y la educación ambiental.
- Desarrollar y ejecutar el seguimiento, monitoreo y evaluación de las políticas internacionales, regionales y nacionales, principalmente de la política de conservación, protección y mejoramiento del ambiente y los recursos naturales.

Actualmente el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) se encuentra ubicado en la 20 calle 28-58 zona 10, edificio MARN, Guatemala.¹¹

¹¹ Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. www.marn.gob.gt/. Consulta 18 de marzo de 2016.

Figura 86. **Logo del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales**



Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. www.marn.gob.gt/. Consulta: 18 de marzo de 2016.

5.2.3.2.2. Política nacional de producción más limpia

Esta política nacional se desarrolla sobre la base de los siguientes principios fundamentales: prevención, eficiencia, gradualidad, responsabilidad compartida diferenciada, competitividad, integralidad y participación. En armonía con otras políticas ambientales relacionadas y específicamente, con la Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente.

El objetivo general de la política nacional de producción más limpia es contribuir al bienestar social, el crecimiento económico, el aumento de la competitividad, el mejoramiento de la calidad del ambiente y el aprovechamiento racional de los bienes y servicios naturales, a través de la aplicación de producción más limpia, como herramienta para la gestión socio-

ambiental. Además de promover la participación, integración y responsabilidad de los habitantes del territorio nacional, a través del consumo de productos y servicios generados con producción más limpia y ser responsables con el medio ambiente.

5.2.3.2.3. Política marco de gestión ambiental

Esta política, en uno de sus objetivos específicos indica: fortalecer la gestión de la calidad ambiental, promoviendo el crecimiento económico, el bienestar social y la competitividad a escala nacional, regional y mundial, a partir de la incorporación del concepto de producción limpia en los procesos productivos, fomentando el uso de prácticas innovadoras de gestión ambiental previniendo y minimizando los impactos y riesgos a los seres humanos y al ambiente.

5.2.3.2.4. Política de conservación, protección y mejoramiento del ambiente y los recursos naturales

Esta política considera que la protección y conservación del ambiente y los recursos naturales debe contribuir al aumento de la productividad y el crecimiento económico y éste a su vez deberá ser sustentable y equitativo con la sociedad y la naturaleza para orientar al desarrollo sostenible del país. Además, menciona la producción más limpia como una herramienta de gestión ambiental.

5.2.3.2.5. Política nacional para el desarrollo de las micro, pequeñas y medianas empresas

Su objetivo general es mejorar la productividad y competitividad de las micro, pequeñas y medianas empresas guatemaltecas, a través del diseño de los lineamientos generales del modelo y de los instrumentos y mecanismos que les permitan a dichas empresas actuar en igualdad de condiciones, respecto a empresas de mayor tamaño y, de esta forma, aprovechar todas las oportunidades que les otorga el mercado nacional y la apertura del mercado internacional.

5.3. Plan de gestión ambiental

5.3.1. Efectos producidos por los residuos de mármol

Formas Geométricas, S.A., en el proceso de fabricación de superficies y acabados, genera ciertos impactos negativos a largo plazo en la salud del trabajador y en el ambiente. Desde que la materia prima (placas de mármol) entra a la operación de corte y en el momento de cuadrar la placa de mármol se generan partículas de polvo y aguas residuales (lodo de mármol), además de los residuos de mármol llamado retal, estos residuos de mármol se generan también en las operaciones de moldura, tallado, pulido y brillo de las piezas de mármol.

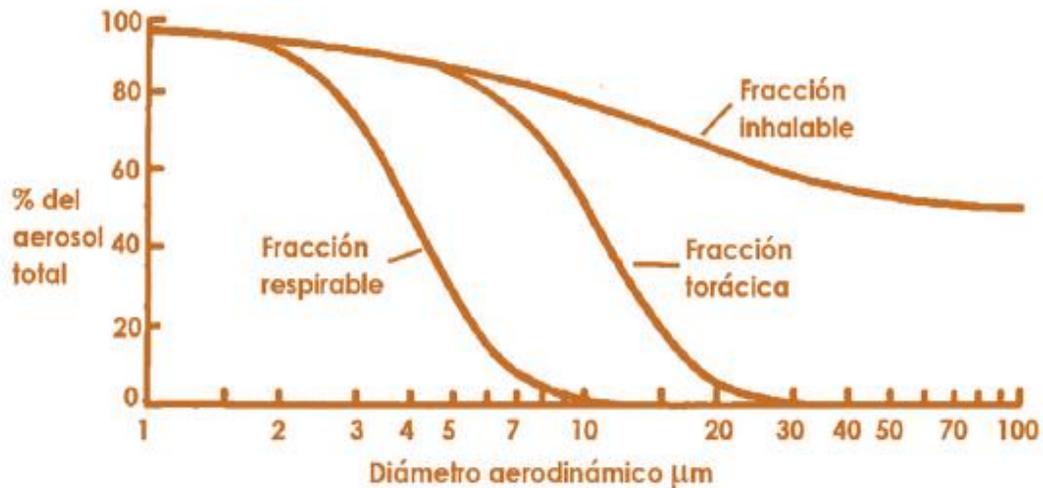
5.3.1.1. Efectos producidos por el polvo de mármol

La mayoría de piedras naturales poseen un componente básico llamado sílice, la sílice puede encontrarse en forma amorfa (en forma de tierra) no muy común y baja en toxicidad y puede encontrarse en forma cristalina (llamada también sílice libre) apareciendo de forma natural en muchas piedras. Formas Geométricas, S.A.; además del mármol, trabaja con otras piedras como lo son el granito y cuarzo. Los porcentajes aproximados de sílice cristalina que contienen estos materiales son los siguientes: mármol 0 % - 5 %, granito 15 % - 35 %, cuarzo superior al 95 %.

La sílice cristalina es la considerada de alta toxicidad, debido a que cuando se fabrican superficies y acabados con materiales que contengan este componente, se genera polvo en el ambiente laboral que puede ser respirado por los trabajadores. Cierta fracción de polvo puede penetrar profundamente en los pulmones ocasionando severos daños a la salud, con niveles altos de polvo respirable puede ocasionar enfermedades como la silicosis y la neumoconiosis. Existen tres tipos de fracciones de polvo según la norma europea UNE-EN 481-1995: inhalables, torácicas y respirables.

En el gráfico siguiente se indica que, en la fracción inhalable, la fracción másica del aerosol total se inhala a través de la nariz y la boca; en la fracción torácica, se representa la fracción másica de las partículas inhaladas que penetran más allá de la laringe; la fracción respirable, la fracción másica de las partículas inhaladas penetran las vías respiratorias.

Figura 87. Fracciones de polvo, según norma UNE-EN 481-1995

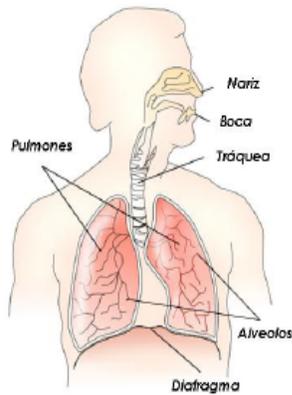


Fuente: Centro Tecnológico de Mármol Murcia. *Fomento de buenas prácticas en el control del polvo y la sílice cristalina: la salud versus la sílice y el polvo respirable.* p. 71.

Cuando la fracción de polvo es mayor a las 100 µm no puede inhalarse cuando la fracción de polvo se encuentra en un intervalo de 50 a 100 µm las partículas se suelen retener en la nariz y en la garganta cuando la fracción de polvo es menor a las 50 µm las partículas penetran en los pulmones y, en el último caso, cuando la fracción es menor a 5 µm las partículas penetran hasta el alveolo pulmonar: un gran riesgo para salud del trabajador.

Para explicar mejor la relación de la unidad de partículas con la capacidad de penetración, se muestra el siguiente gráfico donde se especifica el tamaño de partículas respirables y la capacidad de penetración pulmonar:

Figura 88. **Capacidad de penetración pulmonar**



Tamaño de las partículas	Capacidad de penetración pulmonar
> 100 micras	No pueden inhalarse
100 – 50 micras	Se suelen retener en nariz y garganta
< 50 micras	Penetran en los pulmones
< 5 micras	Penetran hasta el alveolo pulmonar

Fuente: Centro Tecnológico de Mármol Murcia. *Fomento de buenas prácticas en el control del polvo y la sílice cristalina: la salud versus la sílice y el polvo respirable.* p. 71.

5.3.1.2. Efectos producidos por el lodo de mármol

En la industria de mármol las operaciones donde se generan los lodos de mármol son el corte y el cuadré de las piezas; debido a la dureza y baja ductilidad de la placa de mármol, la máquina de corte necesita de agua como refrigerante para el disco de corte, el agua hace a que el disco no astille la piedra o se le forme alguna fisura al material. Con el sistema de agua, se evita que se genere polvo en el ambiente de trabajo, también se evita la necesidad de utilizar abrasivos en el momento de cortar las piezas, pero el agua al mezclarse con el polvo cuando el disco ingresa en la placa de mármol, se generan porciones de agua residual que con el tiempo y el volumen de trabajo se forman en lodos de mármol.

En la operación de pulido y brillado de las piezas también se generan lodos de mármol debido a que las piezas son brilladas con lijas con ayuda de agua para un mejor contacto y brillo con el material, donde las fracciones de polvo que quedan en las piezas de mármol son removidas con el agua formando pequeñas cantidades de agua residual que van dirigidas a las canaletas donde se depositan por un tiempo y con el volumen de trabajo se generan los lodos de mármol.

El lodo de mármol cuando no se tiene un sistema diseñado para su recolección y solo se vota al piso, representa dificultad para la movilidad del personal y del material; genera, también, contaminación visual en el ambiente de trabajo, olores desagradables al personal, irritación en la piel cuando el personal tiene contacto directo con el lodo de mármol. Que con el tiempo estos efectos pueden ocasionar problemas a la salud del trabajador en las vías respiratorias por la inhalación del residuo como problemas de manchas y hongos en la piel.

Figura 89. Efectos producidos por el lodo de mármol



Fuente: Guatemarmol. www.guatemarmol.com/web/grupo-guatemarmol/. Consulta: 25 de abril de 2016.

En muchas ocasiones el lodo de mármol se deposita en el alcantarillado público o en las calles públicas, lo cual genera daños al medio como se ha descrito anteriormente, el lodo de mármol contiene en su mayoría agua y calcita, por lo que su descomposición lleva meses afectando a los trabajadores y al medio ambiente.

5.3.1.3. Efectos producidos por el retal de mármol

El desperdicio de mármol o comúnmente llamado retal se genera en el momento del cuadré del material, las placas de mármol cuando son cortadas de los bloques que anteriormente se sacan de las canteras, no vienen en una forma geométrica, a lo que se le llaman placas aserradas. Debido a eso en la operación de cuadré las placas de mármol son llevadas a una forma cuadrada, en ese momento de la operación se van desprendiendo pedazos de mármol de las placas hasta su forma cuadrada, todo ese desperdicio o retal genera incomodidad en los ambientes de trabajo al momento de traslado de material y tráfico de personal.

En las operaciones de corte de las piezas y en la operación de tallado se generan también mínimas fracciones de retal, que con un volumen alto de trabajo pueden llegar a formar bultos de desperdicio de material lo cual puede provocar accidentes o lesiones laboral, cuando no se usa un equipo de protección personal (EPP). Estos bultos de desperdicio han provocado lesiones en los pies y piernas de los trabajadores, resbalones o tropiezos lo cual provoca que los trabajadores caigan al suelo golpeándose alguna parte de su cuerpo e incluso en un caso extremo puede haber un golpe en la cabeza lo cual generaría un peligro al personal tanto de administración como de operación.

Al no contar con un plan para la recolección y depósito correcto del retal de mármol, además de provocar lesiones en los trabajadores, también se provoca una mala imagen de la empresa ante los clientes que llegan a visitas comerciales, recordando que por cada cliente que recomiende una buena imagen de cierta empresa, son diez clientes más interesados en visitas comerciales hacia la empresa.

Contar con bultos de desperdicio regados por toda la fábrica, genera pérdidas de tiempo en el traslado de personal, fatiga en los trabajadores al momento de estar retirando cada retal de mármol o despejando del camino y/o de las vías con más tráfico de personal. El retal de mármol provoca también que los ambientes de trabajo y las áreas de almacenamiento de material queden reducidos debido a tanto desperdicio de material. No debe olvidarse un factor importante los daños al medio ambiente cuando el residuo es alojado en áreas de recolección de basura.

Figura 90. **Efectos producidos por el retal de mármol**



Fuente: elaboración propia.

5.3.2. Identificación de los impactos generados por los residuos de mármol

Las fuentes de impacto se derivan del proceso de fabricación de la planta de Formas Geométricas, S.A.; la fabricación de superficies y acabados genera impacto a largo plazo en la salud y seguridad de los trabajadores debido al polvo de mármol que se mantiene en los ambientes de trabajo, las aguas residuales que provocan el lodo de mármol y el retal producto de la operación de corte y cuadro de las placas.

En la identificación y análisis de los impactos se consideran principalmente acciones relacionadas con los elementos: agua, atmosfera y socioculturales (la salud y seguridad del personal). Para analizar los impactos ambientales, producidos por el proceso de fabricación de superficies y acabados, se utiliza el método de la matriz de Leopold que relaciona, en una matriz, las acciones que pueden causar impacto al medio ambiente y a la salud del trabajador (columnas) y las características y condiciones ambientales que pueden alterar el medio ambiente (filas).

Conociendo el proceso de fabricación de superficies y acabados, se lograron identificar las siguientes acciones, donde se generan la mayor parte de residuos de mármol: almacenamiento de materia prima, corte y cuadré de placas, corte de piezas, tallado de piezas y pulido y brillado de piezas. En el proceso de fabricación, los impactos de mayor trascendencia son sobre el medio natural (agua), los desechos líquidos; las aguas residuales que se generan en la operación de corte y cuadré de las placas y en las operaciones de corte, pulido y brillado de las piezas. Tiene efecto, también, sobre el medio social (factor humano), la salud y seguridad del trabajador por el polvo, residuo de mármol en las estaciones de trabajo, además del ruido que causa molestias

a los trabajadores. Del total de factores ambientales, que se utilizan en la matriz de Leopold, los siguientes factores son los que afectan en esta investigación:

- Características físicas y químicas
 - Agua: calidad, recarga de aguas residuales
 - Atmosférica: calidad (gases y partículas), ruido, clima
- Factores culturales
 - Usos del territorio: zona residencial, zona comercial
 - Nivel cultural: salud y seguridad, empleo
 - Servicios e infraestructura: disposición de residuos

Establecidas las condiciones ambientales y las acciones, se procede a identificar los impactos, en función de su magnitud e importancia, según los siguientes criterios:

- Magnitud
 - Menor impacto 1-2
 - Impacto mitigable fácilmente 3-4
 - Impacto mitigable 5-6
 - Impacto mitigable de mayor atención 7-8
 - Impacto grande sin mitigación 9-10
- Importancia
 - Muy baja 1-2
 - Baja 3-4
 - Regular 5-6
 - Alta 7-8
 - Muy alta 9-10

Figura 91. Matriz de Leopold

			Acciones												
			Proceso fabricación								Resultados				
			Almacenamiento de materia prima	Corte y cuadré de placas	Corte de piezas	Tallado de piezas	Pulido y brillo de piezas	Sumatoria de impactos							
Impactos	Características físicas y químicas	Agua	Calidad	3	1	6	3	4	3	2	5	6	4	21	16
			Recarga aguas subterráneas	1	3	7	8	5	1	4	1	8	9	25	22
		Atmosférica	Calidad (gases, partículas)	2	1	9	8	6	7	6	5	5	3	28	24
			Ruido	1	3	9	8	8	7	5	4	3	2	26	24
			Clima	2	1	7	7	6	7	4	5	6	8	25	28
	Factores culturales	Usos del territorio	Zona residencial	2	2	5	5	5	2	6	7	8	6	26	22
			Zona comercial	2	3	9	9	4	8	5	6	6	3	26	29
		Nivel cultural	Salud y seguridad	5	6	9	9	8	9	6	7	4	3	32	34
			Empleo	4	5	5	6	4	6	6	4	8	5	27	26
		Servicios e infraestructura	Disposición de residuos	7	6	5	3	4	6	5	8	7	3	28	26
Resultados		Sumatoria de acciones	29	31	71	66	54	56	49	52	61	46	264	251	

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Realizada la matriz de Leopold, se pueden identificar las acciones del proceso de fabricación que generan mayor impacto ambiental: el corte y cuadré de las placas, la acción con mayor valor; provoca un impacto mitigable de

mayor atención con una importancia muy alta; la otra acción que mayor impacto tiene es el pulido y brillo de las piezas que provoca un impacto mitigable con una importancia alta.

Estas acciones se ven afectadas por la condición atmosférica, donde las partículas y los gases que son emitidos por el polvo y el lodo de mármol, afectan la salud del trabajador y al medio ambiente; a nivel cultural, la salud y seguridad de trabajador se ve en riesgo por todos los residuos de mármol del proceso de fabricación; sumado, la disposición de residuos impacta grandemente a los trabajadores de Formas Geométricas, S.A., y a largo plazo al medio ambiente; estos impactos son mitigables y tienen una importancia muy alta, por lo que se les debe prestar mayor atención.

En conclusión, el proceso de fabricación de superficies y acabados no generan impactos a la flora y fauna debido a que la planta ya se encuentra en funcionamiento; los impactos que si genera son los riesgos y seguridad de los empleados por malas prácticas de seguridad e higiene industrial (polvo, ruido, accidentes menores), molestias al personal operativo y administrativo por las partículas de polvo en el aire, filtración de aguas residuales en el drenaje municipal.

5.3.3. Prevención y medidas de mitigación

Definidas las acciones y las condiciones que mayor impacto afecta a la salud del trabajador y afectan al medio ambiente, se dispone a realizar las medidas de mitigación para reducir estos impactos ambientales.

Tabla XXVI. **Medidas de mitigación, proceso de producción**

Actividad	Variable ambiental	Fuente generadora del impacto	Impacto generado	Medidas de prevención y mitigación	Ubicación de la medida	Responsable de su ejecución	Momento de su ejecución	Resultado esperado
Proceso de fabricación	Estaciones de trabajo	Maquinaria y herramienta en mal estado	Riesgo de mayor generación de polvo	*Implementar sistemas de recolección de polvo. *Capacitar al personal en el uso correcto del equipo de protección personal. *Formar brigadas de control y prevención de accidentes. *Mantener señalizadas las áreas de trabajo y las salidas de la planta.	Planta de fabricación	Gerencia	Acción inmediata	Prevenir gran cantidad de partículas de polvo en el ambiente
	Salud y seguridad del trabajador	Acto riesgoso de parte del personal	Riesgo de accidentes laborales				Corto plazo	Atención inmediata de parte de la brigada de control y prevención

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Tabla XXVII. Medidas de mitigación, contaminación del aire y ruido

Actividad	Variable ambiental	Fuente generadora del impacto	Impacto generado	Medidas de prevención y mitigación	Ubicación de la medida	Responsable de su ejecución	Momento de su ejecución	Resultado esperado
Proceso de fabricación	Contaminación del aire por partículas de polvo		Daños salud trabajadores (índice silicosis)	*Analizar la factibilidad de aislar maquinarias y herramientas que mayor polvo generan. *Controlar que el personal utilice su equipo de protección personal. *Implementar equipo especializado para la protección auditiva.	Sobre las fuentes que generan polvo y ruido (corte, tallado y pulido de piezas)	Gerencia y supervisor de planta	Acción inmediata	Ambiente laboral saludable, reduciendo la cantidad de polvo
	Generación de ruido que excede los 75 dB	Corte, tallado y pulido de piezas	Deterioro capacidad auditiva (estrés, cansancio)				Acción inmediata	Reducir enfermedades industriales (pulmonares, auditivas)

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Tabla XXVIII. Medidas de mitigación, filtración de aguas residuales

Actividad	Variable ambiental	Fuente generadora del impacto	Impacto generado	Medidas de prevención y mitigación	Ubicación de la medida	Responsable de su ejecución	Momento de su ejecución	Resultado esperado
Proceso de fabricación	Filtración de aguas residuales en el drenaje municipal	Corte y cuadré de las placas, pulido de piezas	Riesgo de contaminación en los drenajes públicos	*Limpieza general de la planta de fabricación, aspirado de polvo	Interior y exterior de la planta de fabricación	Supervisor de planta	Acción inmediata	Garantizar que el agua residual no sea vertida en el drenaje municipal
			Impacto ambiental a largo plazo	*Limpieza trimestral de las fosas de agua *Tratar el agua con floculantes de manera que los sólidos se precipiten más rápido, formando lodos y facilitar su recolección				Reducir los volúmenes de sólidos en las fosas de agua

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Tabla XXIX. **Medidas de mitigación, disposición de residuos**

Actividad	Variable ambiental	Fuente generadora del impacto	Impacto generado	Medidas de prevención y mitigación	Ubicación de la medida	Responsable de su ejecución	Momento de su ejecución	Resultado esperado
Proceso de fabricación	Disposición de polvo y lodos	Corte y cuadré de las placas, pulido de piezas	Riesgo de contaminación en los drenajes públicos	*Recolectar los lodos que por su composición pueden ser utilizados. *Recolectar el polvo, con la limpieza de la planta	Interior y exterior de la planta de fabricación	Gerencia y supervisor de planta	Acción inmediata	Reducir la cantidad de residuos generados
	Disposición de retal		Salud y seguridad de los trabajadores	*Implementar un sistema para recolectar el retal, que puede ser utilizado en materiales de construcción				Reducir los costos en la disposición de residuos

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

En la primera medida de mitigación, se analizaron las condiciones de las estaciones de trabajo y la salud y seguridad del trabajador; para prevenir riesgo de mayor generación de polvo se deben implementar sistemas para la recolección de polvo y para prevenir riesgo de accidentes laborales, se debe capacitar al personal sobre la importancia del equipo de protección personal.

La contaminación del aire por las partículas de polvo, generan un impacto en la salud del trabajador, provocando enfermedades pulmonares a largo plazo, por lo que se pretende analizar la factibilidad de aislar la maquinaria y herramienta que mayor polvo generan; el ruido mayor a 75 dB debe prevenirse implementando equipo especializado para la protección auditiva, de manera que evite estrés, fatiga y deficiencia en el personal operativo; se puede prevenir la cantidad de aguas residuales, limpiando toda la planta de fabricación y las fosas de agua bimestral o trimestralmente.

El otro factor que se identificó de gran impacto es la disposición de residuos de mármol que ponen en riesgo la salud del trabajador y, a largo plazo, al medio ambiente, como se ha mencionado anteriormente; esto se puede prevenir diseñando e implementando planes y sistemas de recolección de los residuos que, por el carbonato de calcio, como su principal componente, los residuos de mármol pueden reciclarse y utilizarse en diversas industrias.

5.3.4. Seguimiento y control

Todo plan de gestión ambiental debe llevar un seguimiento y control de las medidas de mitigación, para verificar que los resultados esperados se cumplan; el plan de seguimiento y control define acciones específicas de vigilancia ambiental para verificar el cumplimiento de las medidas de mitigación anteriormente descritas.

Tabla XXX. **Acciones de seguimiento y control**

Acciones de seguimiento y control	Frecuencia	Responsable	Ubicación
Identificación de los puntos de recolección de residuos, señalización de las medidas de seguridad de la planta de fabricación.	Semestral	Gerencia y supervisor de planta	Planta de fabricación
Equipo de protección personal, que cumpla con los requerimientos para realizar las operaciones del proceso de fabricación.	Semestral	Gerencia y supervisor de planta	Planta de fabricación
Orden y limpieza de las estaciones de trabajo, no deberá existir acumulación de materiales, ni obstáculos que ocasionen tropiezos.	Diario	Supervisor de planta	Planta de fabricación
Limpieza de la maquinaria y herramientas por aspirado, no deberá existir polvo que pueda causar daños al trabajador.	Diario	Supervisor de planta	Planta de fabricación
Existencia de depósitos de retal de cada material, recolección y limpieza para evitar acumulación de residuos.	Mensual	Supervisor de planta	Planta de fabricación
Implementar los sistemas de recolección de polvo del ambiente y limpieza de las instalaciones de la planta de fabricación.	Unica vez	Gerencia y supervisor de planta	Planta de fabricación
Disposición de lodos recolectados en las fosas de agua, utilización de floculantes para la generación de los sólidos.	Semestral	Supervisor de planta	Planta de fabricación
Capacitación continua al personal operativo y administrativo, sobre la importancia de la recolección de los residuos de mármol y la producción más limpia.	Mensual	Gerencia y supervisor de planta	Planta de fabricación

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Cabe destacar que las medidas a tomar en cuanto a las aguas residuales, debe implementarse en conjunto con las medidas de mitigación de la contaminación ambiental por polvo, en la medida que se reduzcan los volúmenes de polvo que caen al suelo y posteriormente a las fosas de agua, se reducirán las cantidades de lodo de mármol en la empresa.

Al seguir con todas las medidas de prevención y control, se pretende promover y hacer conciencia a todo el personal de Formas Geométricas, S.A., sobre la producción más limpia y la importancia que tiene la gestión de los residuos de mármol en el proceso de fabricación; puesto que a través del reciclaje se pueden conseguir nuevos materiales de construcción como azulejos, losetas, pastas, esmaltes, yeso y productos de imitación a las piedras naturales.

5.3.5. Legislación ambiental sobre los residuos

Todas las acciones de seguimiento y control establecidas en el plan de gestión ambiental deben estar respaldadas con documentación (normativas, reglamentos, formularios, etc.), que avalen el cumplimiento de las mismas. No existe una legislación que trate sobre el mármol en especial, pero si existen normativas y reglamentos que tratan sobre la gestión de residuos y aguas residuales.

5.3.5.1. Reglamentos, normativos y políticas de estudios de gestión ambiental

Para la disposición de aguas residuales y la disposición de lodos, se puede consultar el *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, acuerdo gubernativo número 236-2006; tiene por

objetivo establecer criterios y requisitos que se deben cumplir al pie de la letra, todo con el fin de proteger a los receptores de aguas residuales, promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada y sobre todo promover la conservación y mejoramiento del recurso hídrico estableciendo un control del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. La aplicación de este reglamento es para todas las personas que manejen aguas residuales.

En la disposición de aguas residuales y de lodo, es recomendable realizar un estudio técnico de aguas residuales para proteger la salud pública y el medio ambiente, puesto que si las aguas van a ser vertidas a un cuerpo receptor (mar, río, lago), es necesario realizar un estudio para evitar enfermedades causadas por bacterias y virus. Previene enfermedades que puedan afectar la salud del trabajador, que está en contacto directo con los materiales y el agua reutilizada en la planta de fabricación. El Centro Guatemalteco de Producción más Limpia, realiza estudios técnicos de aguas residuales con el objetivo de identificar oportunidades de mejora respecto al consumo de agua y reducción de aguas residuales.

Para la recolección del lodo y retal, se puede consultar la *Guía para la gestión de residuos municipales*, que orienta sobre cómo obtener mejores soluciones para el manejo de residuos sólidos. Propone diseños para el mejoramiento del sistema de manejo de residuos sólidos, implementa planes de acción con participación de la comunidad y de actores clave en la gestión ambiental y fomenta el mejoramiento continuo en el manejo de residuos sólidos. El Centro Guatemalteco de Producción más Limpia realiza auditorías de desechos sólidos que pueden respaldar la investigación de la gestión de los residuos de mármol.

El Centro Guatemalteco de Producción más Limpia realiza mediciones de salud ocupacional que para esta investigación respaldaría las condiciones de generación de la calidad del aire, el ruido excedente y las medidas de la salud y seguridad del trabajador, como se describió anteriormente impactan grandemente la salud del personal. El CGP+L realiza mediciones de la calidad de aire, los niveles de ruido, iluminación, temperatura, etc., en las estaciones de trabajo, ya que tienen un impacto en la salud de las personas, en la productividad y el desempeño de las empresas.

Existen instrumentos y políticas ambientales que sirven de apoyo en estudios de gestión ambiental como las siguientes:

Figura 92. Instrumentos de política que regulan los sistemas ambientales en Guatemala

Instrumentos de política que regulan los sistemas ambientales en Guatemala	
Sistema	Instrumentos de política
Atmosférico	Sin normativo, para el monitoreo de la calidad del aire, la USAC emplea normas y criterios de la OMS.
Hídrico	Política y Estrategia Nacionales de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, Código de Salud, Código Municipal, normativos municipales y de varias instituciones, que incluyen OG (MARN, MAGA, MSPAS, MEM, INSIVUMEH, Instituto de Fomento Municipal -INFOM-, Instituto Nacional de Electrificación -INDE-, INAB, CONAP, EMPAGUA); universidades (USAC, UVG y URL), ONG, municipalidades, autoridades de cuenca y el sector privado.
Lítico	Ley de Minería y su reglamento.
Edáfico	Ley del Fondo de Tierras, Ley de Transformación Agraria, Ley Forestal y sus reglamentos, Ley Reguladora de las Áreas de Reservas Territoriales del Estado, Ley de Minería del Ministerio de Energía y Minas y Declaración de Antigua para el Manejo Sostenible de Tierras.
Biótico	Ley de Áreas Protegidas, Ley Forestal y sus reglamentos, listas rojas de flora y fauna, leyes específicas que declaran áreas protegidas, Política y Agenda Forestal, Política de Biodiversidad.
Audiovisuales	Ley de Anuncios, Reglamento para la Colocación de Rótulos y reglamentos municipales específicos.
Bienes naturales y culturales	Ley de Áreas Protegidas y Ley para la Protección del Patrimonio Cultural y sus reglamentos, leyes específicas que declaran monumentos culturales y naturales, políticas culturales y deportivas y el Plan de Desarrollo Cultural a Largo Plazo.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Informe Ambiental del Estado de Guatemala: Gestión Ambiental.* p. 269.

Figura 93. Principales políticas e instrumentos ambientales en Guatemala

Principales políticas ambientales e instrumentos para su implementación	
Año	Política o instrumento
1985	Constitución Política de la República de Guatemala
1986	Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto 68-86
1989	Ley de Áreas Protegidas, Decreto 4-89
1994-96	Acuerdos de Paz, Firma de la Paz Firme y Duradera
1997	Programa Forestal Nacional
1999	Comisión Nacional de Agricultura Ecológica, Política Agraria de Guatemala, Política de Asentamientos Humanos en Áreas Protegidas, Política Forestal de Guatemala, Política Nacional de Biodiversidad
2000	Agenda Estratégica Nacional de Ambiente y Recursos Naturales 2000-2004, Comisión de Plaguicidas del MSPAS, Políticas Culturales y Deportivas de la Nación
2001	Comité Arrecifal Nacional, Política de Desarrollo Social y Población, Política Nacional para la Industrialización del País, SIPECIF, Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y Sequía (PROANDYS)
2003	Agenda Nacional Forestal, Comisión Multisectorial de Coordinación y Apoyo para el Manejo de los Desechos Sólidos Hospitalarios, Política Marco de la Gestión Ambiental, Política de Equidad de Género en el Sector de la Gestión Ambiental, Programa Nacional de Cambio Climático
2002	Comité de Orientación y Asesoría de la Biodiversidad (CONADIBIO)
2004	Comisión Nacional de Agua, Estrategia Gubernamental Ambiente Guate Verde 2004-2008, Plan Nacional de Desarrollo Cultural a Largo Plazo, Política de Co-administración en Áreas Protegidas, Política Nacional de Educación Ambiental, Programa Nacional de Vigilancia de Calidad de Agua para Consumo Humano
2005	Comisión Presidencial Reverdecer Guatemala, Plan Nacional de Desarrollo Cultural a Largo Plazo, Política de Desarrollo Rural, Política Nacional de Humedales, Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutrición, Política Nacional para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos Sólidos
2006	Estrategia y Política Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, Política de Desarrollo Rural Integral
2007	Plan de Manejo del Lago de Atitlán; Política de Conservación, Protección y Mejoramiento del Ambiente y los Recursos Naturales; Política de Producción más Limpia para Guatemala; Política Energética y Minera
2008	Agenda ambiental a partir de la perspectiva de los pueblos indígenas, Estrategia Nacional de Manejo y Conservación de Tierras Comunes, Estrategia para Reducir el Uso de Sustancias Agotadoras del Ozono, Estrategia para la Conservación del Manatí, Gabinete Específico del Agua, Gabinete Socioambiental, Plan Estratégico Institucional del MARN 2008-2012, Plan de Seguridad en Áreas Protegidas, Política Agropecuaria 2008-2012, Política para el Manejo Integral de la Zona Marino Costera de Guatemala (borrador)
2009	Declaración de Antigua para el Manejo Sostenible de Tierras; Programa de Control y Monitoreo de Contaminantes Microbiológicos, Sustancias Químicas y Características Físicas del Agua, Política Nacional de Cambio Climático (en elaboración)

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Informe Ambiental del Estado de Guatemala: Gestión Ambiental.* p. 269.

5.3.5.2. Evaluación, control y financiamiento de estudios de gestión ambiental

Toda gestión ambiental debe ser evaluada y controlada para prevenir el deterioro ambiental y los problemas a la salud del trabajador. El acuerdo gubernativo 431-2007 definió seis instrumentos de evaluación ambiental: evaluación ambiental estratégica, evaluación ambiental inicial y autoevaluación ambiental, estudio de evaluación de impacto ambiental, evaluación de riesgo ambiental y evaluación de impacto social; además, tres instrumentos de control y seguimiento: auditorías ambientales, seguimiento y vigilancia ambiental y compromisos ambientales.

Figura 94. Fondos ambientales de Guatemala

Fondos ambientales de Guatemala	
Fondo	Descripción
Fondo Guatemalteco del Medio Ambiente (FOGUAMA)	Fondo público encargado de adquirir y canalizar recursos financieros del Estado, organizaciones internacionales, donadores y otras fuentes de financiamiento, en una forma coordinada y multisectorial, para la protección y mejoramiento del medio ambiente. Es una entidad miembro del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, responsable de encauzar y financiar las iniciativas ambientales derivadas de las políticas nacionales para el ambiente sostenible.
Fondo Nacional para la Conservación de la Naturaleza (FONACON)	Fondo público a cargo del CONAP destinado al financiamiento de las áreas protegidas. Su objetivo consiste en apoyar financieramente a las instituciones que se dediquen a la protección, conservación y restauración de los bienes naturales. Los aportes anuales de este fondo han decrecido de USD 1,375,000 en 1999 a USD 375,000 en 2001.
Fundación para la Conservación de los Recursos Naturales y Ambiente en Guatemala (FCG)	Fondo privado creado para apoyar proyectos y actividades de conservación que pudieran tener impacto en el desarrollo sostenible del país.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Informe Ambiental del Estado de Guatemala: Gestión Ambiental.* p. 269.

La investigación ambiental en Guatemala es realizada principalmente por centros de investigación universitarios, como el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos. En la mayoría de casos, las investigaciones son financiadas por organismos internacionales; algunas logran financiamiento a través de fondos ambientales y otras son presupuestadas directamente por entidades del gobierno.

Figura 95. **Centros universitarios de investigación de Guatemala**

Centros universitarios de investigación de Guatemala	
Universidad	Principales centros de investigación
Universidad del Valle de Guatemala	Instituto de Investigaciones Centro de Estudios Agrícolas y Forestales Centro de Estudios Ambientales Centro de Estudios en Salud Herbario y laboratorio de entomología sistemática
Universidad de San Carlos de Guatemala	Dirección General de Investigación Centro de Estudios del Mar (CEMA) Centro de Estudios Urbanos y Regionales (CEUR) Facultad de Agronomía (FAUSAC) Centro de Documentación e Información Agrícola Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales Unidad de Sistemas de Información Geográfica Centro de Agricultura Tropical Bulbuxyá Unidad Docente Productiva Sabana Grande Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia Laboratorios de calidad de agua y control de contaminación del aire Museo de Historia Natural Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) Jardín botánico, biotopos protegidos y reserva natural de usos múltiples Facultad de Ingeniería Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)
Universidad Rafael Landívar	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA)
Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales	Área de Población, Ambiente y Desarrollo Rural

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Informe Ambiental del Estado de Guatemala: Gestión Ambiental.* p. 269.

6. MEJORA CONTINUA Y RESULTADOS

6.1. Mejora continua

Optimizar los procesos de fabricación y los recursos disponibles en una empresa, promueve una mejora continua orientada a lograr los objetivos propuestos, minimizando todo lo que no genera valor a los procesos, como los tiempos improductivos, los desperdicios de materia prima y desgaste de los trabajadores; generando así calidad en los procesos y eficiencia en el personal.

Una producción más limpia contribuye a la mejora continua en la eficiencia de los procesos, reduciendo riesgos para los seres humanos y al medio ambiente; puesto que el objetivo primordial de este plan de investigación es la gestión de los residuos para la fabricación de subproductos, promoviendo la innovación y el emprendimiento.

6.1.1. Estrategia de mejora continua

Para realizar un buen proyecto es necesario definir estrategias de mejora continua que sean de gran utilidad para la resolución de problemas, puesto que, para proponer soluciones, se debe contar con información apoyada con herramientas, para que la planeación, la realización y la evaluación de la calidad sea continua.

Primero, se debe definir y delimitar un problema para ver cómo afecta los procesos y su calidad con el objetivo de tener bien definido y delimitado el problema, así como el objetivo que se pretende conseguir con el proyecto;

seguido de esto, se buscan todas las posibles causas del problema que afectan de raíz al problema, con herramientas como la lluvia de ideas y el diagrama de Ishikawa, para considerar diferentes causas para posteriormente tener claro los efectos que generan en los procesos.

Establecidas las posibles causas que dan con el problema, se deben definir cuáles son las causas más importantes para saber cómo se relacionan las diferentes causas para poder entender de mejor manera la solución al problema; posteriormente, se debe considerar las medidas de solución, si estas no generan otros problemas, puesto que, de ser así, se deben optar por otras medidas de solución efectiva.

Tabla XXXI. **Estrategia de mejora continua**

Etapa	No.	Nombre del paso	Posibles herramientas a utilizar
Planear	1	Definir y analizar el problema	Pareto, hoja de verificación
	2	Buscar todas las posibles causas	Lluvia de ideas, diagrama Ishikawa
	3	Investigar la causa más importante	Pareto, diagrama de Ishikawa
	4	Considerar las medidas solución	Por qué ... necesidad
			Qué ... objetivo
Dónde ... lugar			
Cuánto ... tiempo y costo			
Cómo ... plan			
Hacer	5	Poner en práctica medidas verificación	Seguir el plan elaborado paso anterior
Verificar	6	Revisar los resultados obtenidos	Histograma, Pareto, hoja de verificación
Actuar	7	Prevenir la recurrencia del problema	Estandarización, inspección, supervisión
	8	Conclusión	Revisar y documentar el procedimiento seguido y planear el plan futuro

Fuente: GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto. *Calidad total y productividad: metodología para la solución de problemas.* p. 363.

Para llevar a cabo las medidas de solución, se deben llevar según lo planificado en el plan elaborado, los involucrados deben informar a todo el personal administrativo y operativo sobre la importancia de la estrategia de mejor continua, el problema que se puede llegar a obtener, sus causas y efectos, además de los objetivos que se pretenden alcanzar; se deben revisar los resultados obtenidos en el plan de mejora continua y sus medidas de solución para que estas cumplan con su objetivo de manera que los cambios que sean necesarios realizar se vean reflejados y se puedan atender.

Es importante comunicar y justificar las medidas de solución y capacitar al personal para su ejecución para que se involucren en el objetivo propuesto y se den cuenta de los beneficios obtenidos con el plan de mejora continua; por último, se debe revisar y documentar los procedimientos seguidos, demostrar los resultados obtenidos, presentarlo a los directivos para difundir la calidad en los procesos y la satisfacción de todo el personal.

6.1.2. Estrategia de mejora continua en el proceso de fabricación de pisos de mármol artificial

Para medir la calidad de los pisos de mármol artificial fabricados, junto con el proceso de fabricación, es importante detectar las causas principales de la variación en la medición de la calidad del producto en el gráfico de control propuesto. Esto para saber cuándo un punto cae fuera de los límites de control o cuando los puntos en la gráfica siguen un comportamiento no aleatorio.

Se proponen cinco patrones de medición para el comportamiento de los puntos en el gráfico de control; para indicar por qué un producto no cumple los atributos de calidad y por qué un proceso de fabricación es inestable.

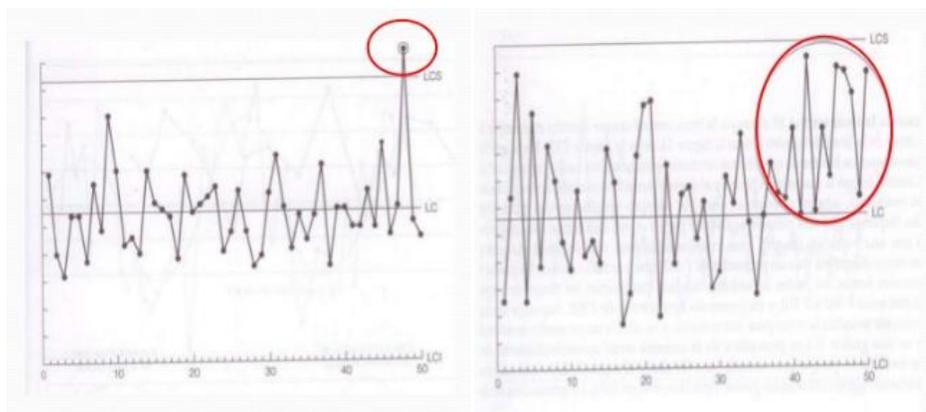
6.1.2.1. Desplazamientos o cambios en el nivel del proceso de fabricación

Este cambio ocurre cuando uno o más puntos se salen de los límites de control o cuando una tendencia clara y larga que haga que los puntos consecutivos caigan de un solo lado del límite de control central; dichos cambios pueden ser:

- La introducción de nuevos trabajadores, equipos, herramientas, materiales o métodos
- Una mayor o menor atención de los trabajadores en la fabricación
- Cambios en los métodos de inspección de operaciones

Algunos criterios usuales para ver este cambio son: si ocho o más puntos consecutivos caen de un solo lado del límite central o si al menos un punto sale de los límites de control.

Figura 96. Cambios en el nivel del proceso



Fuente: GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto. *Calidad total y productividad: metodología para la solución de problemas.* p. 363.

Se propone dar capacitación constante al personal operativo, utilización adecuada de los equipos y herramientas de fabricación; se debe evitar un cambio repentino de métodos puesto que genera inestabilidad en el proceso, verificación e inspección constante.

6.1.2.2. Tendencias en el nivel del proceso de fabricación

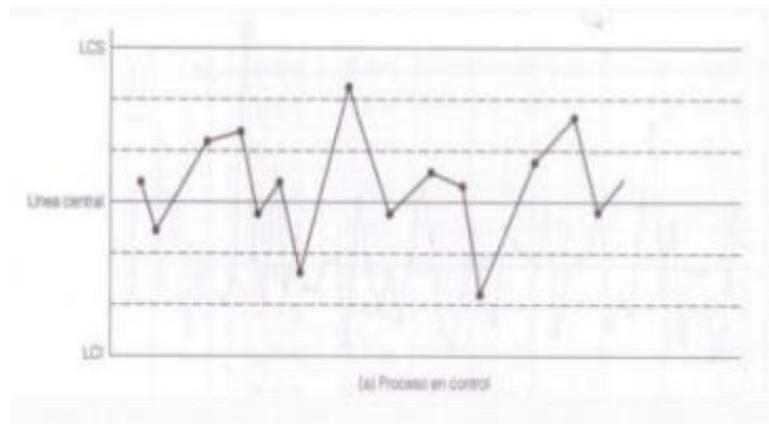
Este cambio consiste en una tendencia a incrementarse o disminuirse de los puntos tomados en las órdenes de fabricación, una tendencia ascendente o descendente bien definida y larga se puede deber a algunas de las siguientes causas principales:

- El desajuste o deterioro de las máquinas y equipo de fabricación
- Desgaste de los discos de corte y lijas para pulir
- Cambios constantes de las condiciones de los ambientes de trabajo

Estas causas se reflejan prácticamente cuando existe un movimiento de muchos puntos hacia arriba o hacia abajo del gráfico de control, aunque no todos los puntos vayan en ascenso o descenso, además en ocasiones puede presentarse aparentes tendencias en el proceso, pero puede deberse a la elección incorrecta del número de muestras a evaluar.

Se propone realizar un plan de mantenimiento preventivo de maquinaria y equipo de fabricación; también, verificar que los discos de corte no estén desgastados y las lijas para pulir no tengan ningún desperfecto.

Figura 97. **Tendencias en el nivel del proceso**



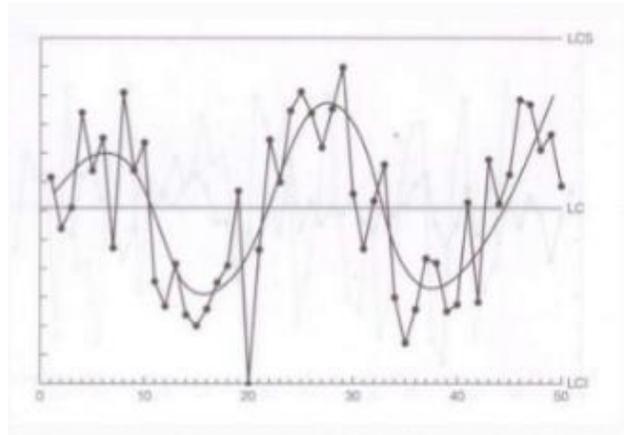
Fuente: GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto. *Calidad total y productividad: metodología para la solución de problemas.* p. 363.

6.1.2.3. Ciclos recurrentes en el proceso de fabricación

Este cambio puede presentar un comportamiento cíclico de los puntos que representan un flujo ascendente y luego un flujo similar descendente y esto se repite en ciclos; este comportamiento puede darse por los siguientes aspectos:

- Rotación regular de la maquinaria y equipos de trabajo
- Rotación regular de los operarios en las estaciones de trabajo
- Cambios inesperados en los ambientes de trabajo

Figura 98. **Ciclos recurrentes en el proceso de fabricación**



Fuente: GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto. *Calidad total y productividad: metodología para la solución de problemas.* p. 363.

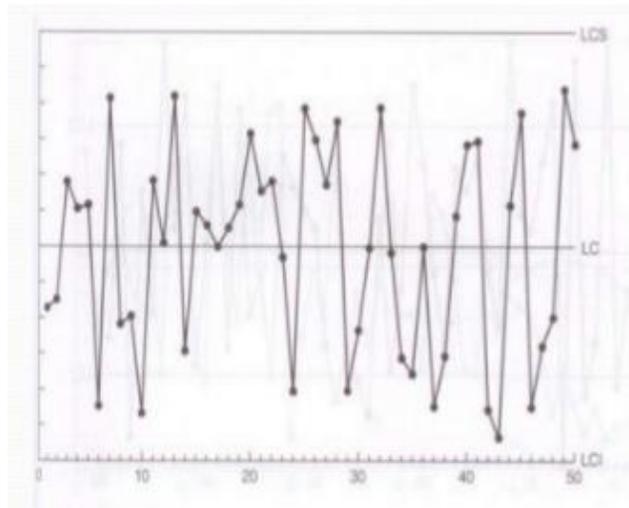
Se propone evitar que la maquinaria y los equipos de trabajo presenten desperfectos; parte de esto es el diseño del plan de mantenimiento preventivo; además, los ambientes de trabajo deben ser los adecuados para evitar que el personal operativo presente fatiga y por eso estos cambios cíclicos.

6.1.2.4. Mucha variabilidad en el proceso de fabricación

Una señal de que en el proceso de fabricación hay una causa principal de mucha variación es porque los puntos del gráfico, tienen a pegarse mucho a los límites de control superior e inferior y pocos puntos se pegan al límite de control central. Algunas causas de este comportamiento son las siguientes:

- Ajustes innecesarios en el proceso de fabricación
- Diferencias en los atributos de calidad en el momento de medir

Figura 99. **Mucha variabilidad en el proceso de fabricación**



Fuente: GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto. *Calidad total y productividad: metodología para la solución de problemas.* p. 363.

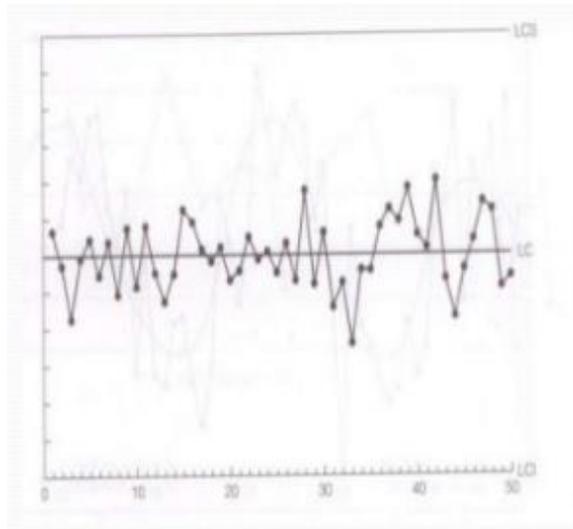
Se propone mantener los atributos de calidad propuestos, sin cambiarlos pues esto representa que los puntos en el gráfico se acercan muchos a los límites de control.

6.1.2.5. Falta de variabilidad en el proceso de fabricación

Un proceso de fabricación puede presentar poca variabilidad, puesto que los puntos en el gráfico de control se acercan al límite de control central que puede darse por las siguientes situaciones:

- Equivocación en el cálculo de los límites de control
- Elección de una muestra parecida al tamaño de subgrupo de las órdenes de fabricación

Figura 100. **Falta de variabilidad en el proceso de fabricación**



Fuente: GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto. *Calidad total y productividad: metodología para la solución de problemas.* p. 363.

Se propone para evitar que haya poca variabilidad en el proceso de fabricación, definir bien la muestra a analizar y realizar un cálculo correcto de los límites de control, además, asegurarse de que se utilice el gráfico de control np, descrito anteriormente.

6.1.3. Análisis beneficio/costo

El análisis de beneficio/costo (B/C), se utiliza con el fin de evaluar la eficiencia con que se utilizan los recursos de un proyecto; si los ingresos (utilidad) son mayores a los egresos (costo), el proyecto es aceptable, de lo

contrario el proyecto debe ser rechazado, pues no va a generar ninguna utilidad en el proyecto de emprendimiento.

El criterio formal de la decisión de este análisis B/C, consiste en aceptar todas las alternativas cuya relación beneficio/costo sea mayor a 1, puesto que el proyecto es aconsejable; rechazar todas las alternativas cuya relación beneficio/costo sea menor a 1, puesto que el proyecto no es aconsejable; un valor igual a 1, implica que los ingresos son iguales a los egresos, indica que el proyecto es indiferente, quiere decir que queda a criterio del inversionista aceptarlo o rechazarlo, pueda que a un corto plazo no genere ninguna utilidad o demasiados costos y a largo plazo, el proyecto se incline por uno de estas 2 opciones.

6.1.3.1. Análisis de la alternativa

Se cuenta con la alternativa de inversión para gestionar los residuos de mármol y fabricar un subproducto que tenga diversidad de utilidades en el mercado de la construcción, con cierta similitud en cuando a la calidad del mármol natural. Se analiza la alternativa de fabricar pisos de mármol artificial con la capacidad de la planta de Formas Geométricas, S.A.

Tabla XXXII. **Alternativa de inversión**

Costo fabricación	Q. 27,83
Tiempo fabricación	60 min
Precio venta	Q. 60,00
Beneficio	Q. 32,17

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

Luego, se dispone a calcular el diferencial (Δ) de B/C de la siguiente manera:

$$\Delta B/C = \text{beneficio}_{\text{alternativa } n} / \text{costo}_{\text{alternativa } n}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$\Delta B/C_{\text{alternativa}} = Q. 32,17 / Q. 27,83 = 1,15$$

Calculado el diferencial de B/C de la alternativa a realizar, posteriormente se dispone a representar los resultados obtenidos, para su respectiva interpretación y recomendación de inversión.

Tabla XXXIII. **Análisis de alternativa**

	Δ B/C	Justificación
Alternativa	1,15	Si

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

6.1.3.2. Interpretación de resultados

Se determinó anteriormente el análisis de B/C de la alternativa, tomando en consideración el criterio de decisión, de que, si el resultado del diferencial de B/C es mayor que 1, el proyecto se acepta como mejor alternativa a trabajar, caso contrario si el resultado del diferencial de B/C fuera menor que 1, el proyecto no se acepta como mejor alternativa a trabajar.

Se concluye que se debe invertir en fabricar pisos de mármol artificial en la planta de Formas Geométricas, S.A., debido a que la relación de

beneficio/costo es mayor a 1, puesto que el costo de fabricación es menor al beneficio obtenido; el costo de mano de obra indirecta se mantiene constante así sea el número de unidades fabricadas; además, se cuenta con la garantía las máquinas, herramientas y equipos de la planta de fabricación, así como también con el respaldo de la empresa.

6.2. Auditorías

Toda mejora continua está sujeta a auditorías tanto internas y externas, como parte del control de calidad de la gestión de residuos de mármol y la fabricación de subproductos de la piedra de mármol artificial.

6.2.1. Internas

6.2.1.1. Análisis FODA

Una de las herramientas para evaluar la calidad de los procesos de fabricación y las estrategias de inversión es la matriz FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) que permite analizar y obtener un diagnóstico del objeto de estudio, con base en la toma de decisiones referente a los objetivos descritos en el plan de investigación.

El objetivo del análisis FODA es obtener conclusiones sobre la forma en el objeto de estudio es capaz de afrontar situaciones futuras (oportunidades y amenazas) a partir de sus características (fortalezas y debilidades).

Se define las fortalezas como la capacidad que tendrá el subproducto de generar utilidad; a las oportunidades como los factores que resultan positivos y generar valor agregado al piso de mármol artificial; las debilidades aquellas

situaciones que pueden desfavorecer los recursos para fabricar el subproducto de mármol; y las amenazas como situaciones que provienen del entorno y pueden llegar a atentar con la utilidad del piso a fabricar.

Se diseña la matriz FODA describiendo los factores clave de cada variable:

Figura 101. **Matriz FODA**

	<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo de fabricación. • Accesibilidad de fabricar el mármol artificial en un domicilio. • Gran porcentaje de utilidad que se genera. 	<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de fabricación muy alto. • Dificultad al cumplir con una gran demanda de producto. • Estrategias de mercadeo y venta del mármol artificial.
<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento del mercado de mármol artificial. • Mármol artificial presenta estabilidad en su precio. • Facilidad para obtener retal de mármol. 	<p>Estrategias (FO)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la eficiencia en la fabricación. • Aprovechar la demanda del mercado de mármol artificial. • Innovar en instalación adecuadas para la fabricación. 	<p>Estrategias (DO)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar estudios y estrategias de mercadeo y ventas del producto para promocionarlo. • Mejorar los tiempos de fabricación y la recolección de retal de mármol.
<p>Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Competencia constante con otras industrias. • Salud del trabajador en las medidas de seguridad industrial. • Equipo y maquinaria inadecuado para la fabricación. 	<p>Estrategias (FA)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Velar constantemente por la salud del trabajador y proporcionar el adecuado equipo de protección personal. • Innovar en el equipo y maquinaria de fabricación. 	<p>Estrategias (DA)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejorar los tiempos de fabricación. • Generar estrategias ante la competencia y demanda cambiante. • Personal altamente calificado.

Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel 2013.

A través de la matriz FODA, se determinaron las estrategias para la mejora continua como parte de la evaluación interna en el proceso de fabricación de mármol artificial. Del análisis FODA, se especifican las áreas y aspectos en los que la organización es fuerte, así como dónde y en qué radican

sus mayores debilidades; asimismo, se determinan las áreas y aspectos de mayor oportunidad y qué situaciones externas representan los mayores riesgos para el éxito de la empresa.

6.2.1.2. Hoja de verificación

Otra herramienta que ayuda a la verificación y evaluación de los procesos de fabricación, es la llamada hoja de verificación o también llamada hoja de control o de chequeo; esta hoja consta de una hoja impresa con un formato de tabla o diagrama donde se registran datos mediante la anotación de marcas asociadas a la ocurrencia de sucesos.

Se puede llevar el control de los tiempos de fabricación, también, el recuento de los kilogramos de mármol necesario para la fabricación del mármol artificial.

La hoja de verificación es un método que proporcionar datos fáciles de comprender y que son obtenidos mediante un proceso simple y eficiente, para la mejora de nuestros procesos de fabricación y recopilación de datos reales para la mejora continua.

Es importante determinar qué situación del proceso de fabricación, es necesaria evaluar, sus objetivos y el propósito que se persigue; además, se debe establecer el periodo durante el cual se obtendrán los datos y diseñar el formato apropiado que contenga la información completa sobre el origen de los datos, fecha, área, responsable, proceso y quién toma los datos.

En el análisis del impacto ambiental que se generaba con los residuos de mármol, se determinaron actores involucrados que en Guatemala velan por la mejora continua y la producción más limpia: el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y el Centro Guatemalteco de Producción más Limpia (CGP+L); como parte de los servicios que ofrecen estas entidades, están las auditorías que realizan a empresa e industrias que se dedican a la fabricación de productos que satisfacen las necesidades de la sociedad.

Si se desea trabajar en un proyecto de transformación de materias primas para la obtención de productos, se propone asesorarse con las entidades anteriormente descritas que regulan las medidas en los procesos de fabricación.

El MARN, ofrece los siguientes servicios de auditoría:

- Evaluación de los instrumentos ambientales y asesorías en producción más limpia.
- Control del cumplimiento de la normativa ambiental: consiste en procedimientos, instructivos y otros instrumentos operativos para las etapas de planificación, ejecución y seguimiento de las auditorías ambientales.
- Control y seguimiento de las medidas de mitigación dentro de las diferentes actividades económicas: tiene como objetivo velar que la empresa cumpla con los requerimientos necesarios en búsqueda de la mejora continua.

- Mediciones de salud ocupacional: es importante conocer los niveles de ruido, iluminación, temperatura, etc., en las áreas de trabajo, ya que tienen un impacto en la salud de las personas, en la competitividad y desempeño de las empresas.

El CGP+L, ofrece servicios para las siguientes auditorías:

- Evaluación de planta: tiene como objetivo realizar una evaluación rápida de los procesos y actividades de la empresa u organización e identificar áreas con potencial de aplicación de producción más limpia o alguna herramienta de competitividad y ambiente.
- Estudio técnico de agua residual: es un requisito solicitado por medio del Acuerdo Gubernativo 236-2006; sin embargo, desde la perspectiva técnica y ambiental, el realizar el estudio contribuye a identificar oportunidades de mejora respecto al consumo de agua y reducción de aguas residuales.
- Sistemas de gestión ambiental: a partir del análisis se identifican opciones de P+L que tienen como objetivo reducir costos y prevenir emisiones o desechos.

En el caso del MARN las auditorías se pueden solicitar por medio de una nota dirigida a la Dirección General de Evaluación y Cumplimiento Ambiental, en la que haga referencia al permiso ambiental correspondiente. Mientras que en el caso del EI CGP+L, es necesario abocarse con un asesor ambiental que se encuentra ubicado en las instalaciones del centro para establecer los pasos a seguir para solicitar las auditorías correspondientes.

6.3. Resultados

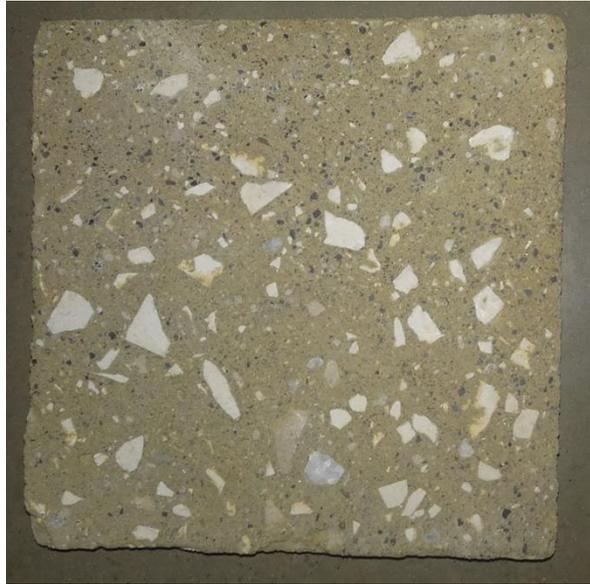
6.3.1. Utilidad del piso de mármol artificial

En la fabricación de piso de mármol artificial se logra demostrar la utilidad que se obtiene al gestionar los residuos de mármol; el proceso de fabricación de superficie y acabados genera retal de mármol que puede ser utilizado para la fabricación de subproductos de mármol y de construcción, el retal de mármol pasa por un proceso de trituración de retal y el polvo y fragmentos obtenidos se mezclan con otros insumos para obtener como resultado los materiales de mármol artificial.

El piso de mármol artificial fue el material designado a fabricar en este proyecto de investigación y el cual tiene muchas utilidades como, piso para exteriores por su porosidad y aspecto rustico, pisos de patio y jardín porque da un aspecto cómodo y natural único que genera valor en la infraestructura actual. Otras utilidades que tiene el piso de mármol artificial es que se puede utilizar en fachadas, gradas, bordes de ventanas y recubrimiento de paredes.

Cabe destacar que no solo se puede fabricar pisos de mármol artificial, con el polvo obtenido en el proceso de trituración se puede fabricar cal y yeso para hacer figuras y esculturas para cualquier revestimiento en el área de la construcción; los fragmentos de mármol, producto del proceso de trituración, se pueden utilizar para realizar mosaicos en paredes y/o pisos, fachaletas o lo que se conoce en la industria del mármol como pavé para el recubrimiento de paredes.

Figura 103. **Piso de mármol artificial**



Fuente: elaboración propia.

Figura 104. **Pavé de mármol artificial**



Fuente: elaboración propia.

6.3.2. Reducción de costos de almacenamiento

Depositar los residuos de mármol en el lugar correcto para posteriormente disponer de estos y ser reciclados reduce los costos de almacenamiento, pues todo residuo que no cumpla con las especificaciones para ser triturado y reciclado se descarta y el residuo que si cumple genera un subproducto, lo que hace a que se genera mayor espacio en las áreas de almacenamiento de materia prima y producto terminado; se libera espacio para almacenamiento de materiales y no es necesario para una demanda alta de producción tener la necesidad de optar para almacenar materiales en otros espacios y/o en bodegas de almacenamiento externas.

Anteriormente, los residuos de mármol se desechaban en los lugares municipales asignados para los desechos, generando un costo para la operación; actualmente, se está realizando una estrategia para disponer de residuos de mármol en el mercado de las plantas trituradoras para lograr un ingreso extra para la empresa y evitar daños a la salud del trabajador y daños al medio ambiente; además, se reducen costos de implementación de sistemas de recolección de retal de mármol.

6.3.3. Mejora de los ambientes de trabajo

Con la utilidad de los residuos de mármol al reciclarlos para la fabricación de un subproducto de mármol, se logró mejorar los ambientes de trabajo en la planta de fabricación de Formas Geométricas, S.A., debido a que estos se encuentran libres de cualquier retal de mármol y equipo mal ubicado que obstaculice el flujo de trabajo y permite un ambiente más agradable y seguro al personal operativo.

Figura 105. **Mejora de los ambientes de trabajo**



Fuente: elaboración propia.

Mejorar los espacios de trabajo y eliminar todo lo que genere desperdicio a los procesos de fabricación, motiva al personal y genera buena imagen como organización ante los clientes que visitan la planta de fabricación en busca de productos de calidad. El personal puede movilizarse sin ninguna dificultad de estación en estación, transportar las piezas de mármol sin necesidad de estovarse unos con otros, colocar los residuos de mármol en los depósitos correspondientes, logrando así su satisfacción personal.

6.3.4. Mejora del desempeño de los trabajadores

Se menciona en el diagnóstico situacional de la empresa, que el personal operativo se encontraba laborando en unas condiciones no idóneas al proceso de fabricación, teniendo un tiempo normal para una orden de fabricación de

357,8 min, debido a los factores de calificación de habilidad (+0,05 %) y esfuerzo del operario (+0,10 %), las condiciones de trabajo (-0,05 %) y la consistencia de cada estación de trabajo (+0,05 %).

Reciclar el residuo de mármol logró mejorar el desempeño de los trabajadores, puesto que un operario de tenía buena habilidad, paso a tener una habilidad excelente mejorando así su calificación por habilidad (+0,10 %); al encontrarse con un ambiente libre de residuos de mármol, se generó una motivación en el personal, que permitió mantener el excelente esfuerzo por trabajar (+0,10 %); las condiciones de trabajo mejoraron (+0,05 %) al obtener ambientes de trabajo más favorables y la buena consistencia en el proceso de fabricación se mantuvo (+0,05 %).

Se logró mejorar el tiempo normal del proceso de fabricación:

$$\text{Factor}_{\text{calif.}} = 100 \% - (\text{Calif.}_{\text{hab.}} + \text{Calif.}_{\text{esf.}} + \text{Calif.}_{\text{cond.}} + \text{Calif.}_{\text{cons.}})$$

Donde:

- Factor_{calif.}: factor calificación del proceso
- Calif._{hab.}: calificación habilidad = +0,10
- Calif._{esf.}: calificación esfuerzo = +0,10
- Calif._{cond.}: calificación condiciones = +0,05
- Calif._{cons.}: calificación consistencia = +0,05

Entonces:

- Factor_{calif.} = 100 % - (0,10 + 0,10 + 0,05 + 0,05)
- Factor_{calif.} = 1 - 0,30

- Factor $_{\text{calif.}} = 0,70$

Por consiguiente:

$$T. N. = T. M. O. * \text{factor}_{\text{calif.}}$$

Donde:

- T. N.: tiempo normal del proceso
- T. M.O.: tiempo medio observado del proceso = 420,90 min
- Factor $_{\text{calif.}}$: factor calificación = 0,70

Entonces:

- $T. N. = T. M.O. * \text{factor}_{\text{calif}}$
- $T. N. = 420,90 \text{ min} * 0,70$
- $T. N. = 294,63 \text{ min} \rightarrow 294,6 \text{ min}$

Mejorando los ambientes de trabajo y el desempeño de los trabajadores, se logra un tiempo normal de fabricación de 294,6 min, lo que genera valor agregado a la calidad del producto y el cumplimiento de los requerimientos del cliente, para la satisfacción del mismo.

6.3.5. Eficiencia en el proceso de fabricación de superficies y acabados en mármol

Se ha definido anteriormente que la eficiencia es cumplir con el objetivo propuesto reduciendo al máximo los recursos utilizados; puesto que el proceso de fabricación de superficies y acabados en la planta de Formas Geométricas,

S.A., se logró mejorar la eficiencia al reducir el tiempo de fabricación, eliminando los residuos de mármol y evitando que los ambientes de trabajo se mantuvieran con objetos innecesarios que no agregan valor al proceso de fabricación.

El tiempo estándar para el proceso de fabricación es de 457,98 min, en base a los valores de suplementos, retrasos personales de un operario (5 %), retraso básico por fatiga (4 %), trabajar de pie (2 %), trabajar con un nivel de iluminación deficiente (5 %), demoras de instrucciones e inspección (3 %) y una demora de fallas de las máquinas y equipo (2 %). Mejorando los ambientes de trabajo, mejorando el desempeño de los trabajadores, reduciendo los movimientos y tareas innecesarias, evitando que los residuos de mármol se encuentren por toda la planta, motivando al personal y reciclando los residuos, se ha logrado mejor la eficiencia en el proceso de fabricación.

Los operarios mantienen el suplemento de retrasos personales (5 %) y se retrasan menos por fatiga (3 %) debido a que los ambientes de trabajo se encuentra mejor distribuidos, las máquinas y equipo se encuentran mejor ubicadas y se eliminan los movimiento innecesarios de estación en estación de trabajo; el suplemento de trabajar de pie se mantiene (2 %) y se propuso al gerente general mejorar la iluminación de toda la planta de fabricación, por lo que el suplemento se redujo (2 %); las demoras de dar instrucciones de parte de los supervisores al personal operativo se redujo (2 %) debido a que ya no se encuentra residuo de mármol por todo el piso de la planta de fabricación y movilizarse dentro de ella es mucho más eficiente; además las demoras por fallas de maquinaria y equipo se lograron reducir (1 %) ya que se almacenan correctamente el retal de mármol que evita que las maquinas pulidoras y los discos de corte se dañen por este residuo.

Ante estas mejoras, el tiempo del proceso de fabricación de superficies y acabados, optimizo su tiempo y las entregas de producto terminado se mejoraron para la satisfacción del cliente:

$$T. E. = T. N. (1 + Tolerancias)$$

Donde:

- T. E.: tiempo estándar
- T. N.: tiempo normal = 294,6 min
- Tolerancias: sumatoria de valores de suplementos = 15 % → 0,15

Entonces:

- T. E. = T. N. (1 + Tolerancias)
- T. E. = 294,6 (1 + 0,15)
- T. E. = 294,6 (1,15)
- T. E. = 338,79 min

Se ha logrado mejorar el proceso de fabricación con un tiempo de 339 min para la fabricación de superficies y acabados, ante un tiempo anterior de 432 min, logrando de esta manera:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Tiempo estándar fabricación}}{\text{Tiempo estándar fabricación} + \text{tiempo agregado proceso}} * 100 \%$$

Donde:

- Eficiencia: cumplimiento objetivo sobre recursos utilizados

- Tiempo estándar fabricación: tiempo estándar con la mejora continua

Tiempo estándar fabricación más tiempo agregado proceso: tiempo estándar de fabricación con desperdicios (tiempos, movimientos, recursos, etc.).

Entonces:

$$\text{Eficiencia} = \frac{338,79 \text{ min}}{432,93 \text{ min}} * 100 \% = 78 \%$$

Se ha logrado una eficiencia de 78 %, reduciendo hasta un 20 % el tiempo del proceso de fabricación de superficies y acabados al eliminar todo lo que no generaba valor al proceso, lo que ha beneficiado a la empresa frente a sus clientes y al personal se le ve más motivado y productivo.

6.3.6. Mejora de la competitividad de la empresa

La gestión de residuos de mármol para la utilidad de nuevos subproductos, mejora la competitividad de la empresa, como parte de la mejora continua en los procesos de fabricación y el desempeño de los trabajadores.

Los costos de almacenamiento de residuos de mármol se reducen, los costos de accidentes laborales se reducen al máximo, se genera un ingreso extra al iniciar en la venta de residuo de mármol para su utilidad en otros productos, se logra reducir los gastos indirectos de fabricación hasta un punto de poder incentivar al personal operativo. Se obtiene una mejor rentabilidad sobre los costos.

La competitividad de la empresa se mejora con la satisfacción del cliente, entregándole un producto de calidad y justo a tiempo debido a la optimización en los procesos de fabricación, pues un cliente satisfecho vuelve a comprar y, por ende, se logra un beneficio; un cliente satisfecho, también, comunica a otro sus experiencias positivas con la empresa que le ofrece un buen producto y puede dejar a un lado la competencia.

Figura 106. **Logo de Formas Geométricas, S.A.**



Fuente: Formas Geométricas, S.A. www.formasgeometricas.net/fg/. Consulta: 26 de noviembre de 2016.

6.3.7. Conciencia de una producción más limpia en la empresa

Se logró concientizar a todo el personal de Formas Geométricas, S.A., sobre la importancia de una producción más limpia como una estrategia de mejora continua ambiental preventiva e integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia en general, y reducir los riesgos para los seres humanos. Fabricando productos orientados hacia la reducción de los impactos negativos que acompañan el ciclo de vida del producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final; optimizando los recursos de la empresa porque minimiza la necesidad de sistemas de mitigación, tratamiento y de disposición de desechos.

Figura 107. **Cocina de mármol de Formas Geométricas, S.A.**



Fuente: elaboración propia.

Formas Geométricas, S.A., ahora tiene un nuevo objetivo, trabajar con base en una producción más limpia, pues se sabe que cada acción podrá reducir el consumo de materias primas y energía, prevenir o reducir la generación de desperdicios, incrementar la productividad, obtener beneficios financieros para la empresa y sobre todo, lograr la satisfacción del cliente.

CONCLUSIONES

1. Se puede reutilizar el retal de mármol, gestionando los residuos que son generados en el proceso de fabricación de superficies y acabados para fabricar un producto de mármol artificial, con diferentes características y atributos de calidad como el brillo, tonalidad, porosidad y que el producto no presente agrietamientos, características importantes para cumplir con las expectativas del cliente.
2. Es factible la fabricación de un piso de mármol artificial, reciclándolo y reutilizándolo como subproducto de mármol; sin embargo, el costo de fabricación de un piso de mármol artificial es elevado y conlleva mucho tiempo para fabricarse y no cubriría una demanda alta, por lo que no resulta factible como proyecto de inversión para una empresa, pero si es útil para una persona individual que desee trabajar en pisos para interiores.
3. Los residuos de mármol pueden tener diferentes utilidades: con el polvo obtenido en el proceso de trituración se puede fabricar cal y yeso para hacer figuras y esculturas para cualquier revestimiento en el área de la construcción; los fragmentos de mármol que son producto del proceso de trituración se pueden utilizar para realizar mosaicos en paredes y/o pisos, fachaletas o lo que se conoce en la industria del mármol como pavé para el recubrimiento de paredes.
4. El polvo de mármol, al ser inhalado por los trabajadores, puede ocasionarles problemas de respiración y enfermedades pulmonares, el

lodo de mármol puede ocasionar alergias y problemas en la piel al ser tratado directamente sobre el operario y el retal de mármol puede ocasionar accidentes laborales; además al no disponer de sistemas de tratamiento de residuos y los desperdicios ser desechados al ambiente, los mismos generan severos daños al medio ambiente.

5. Gestionar los residuos de mármol mejora los procesos de fabricación y genera el uso eficiente y sostenible de los recursos de la empresa, lo que conlleva a mejorar la productividad y por consiguiente la competitividad de una empresa de la industria del mármol y áreas industriales.
6. Al trabajar con base en una producción más limpia y definir una estrategia de mejora continua, se puede minimizar todo lo que no genera valor agregado al producto y a los procesos de fabricación, donde se orienta a la conservación de materias primas, a la reducción y eliminación de los desperdicios.

RECOMENDACIONES

1. Llevar un seguimiento y control en la gestión de residuos de mármol, para verificar que los resultados esperados se cumplan, apoyándose en las medidas de mitigación en donde el plan de seguimiento y control ayuden a generar menos impacto ambiental y mejoren el desarrollo sostenible y la competitividad de una empresa.
2. Fabricar pisos de mármol artificial para decoración en pisos de interiores y no como unidad de negocio industrial, ya que genera menor costo de fabricación; los pisos de mármol artificial también se pueden utilizar como recubrimiento en gradas y zócalos en un domicilio.
3. Se deben investigar otros procesos para darle utilidad a los residuos de mármol, hacer más eficiente su gestión y generar mayor valor agregado al subproducto de mármol.
4. Usar equipo de protección personal en el proceso de fabricación de superficies y acabados, ya sea de mármol natural o mármol artificial, para evitar accidentes y enfermedades al personal. Además, se debe disponer de depósitos de residuos de mármol para evitar accidentes laborales y daños al medio ambiente a largo plazo.
5. Hacer eficientes los procesos de fabricación en las empresas industriales con la gestión de residuos de mármol, para eliminar todos los desperdicios del proceso de fabricación y costos innecesarios; logrando así una cantidad mínima de entradas (horas-hombre, capital

invertido, materias primas, etc.) para obtener un nivel de salidas favorable para la empresa (ganancias, objetivos cumplidos, productos, etc.).

6. Fomentar el seguimiento al plan de acción de mejora continua para establecer que los atributos de calidad se cumplan, se puede utilizar gráfico np, para medir todo proceso de fabricación. Además, en la medida que se fomente una producción más limpia, se logrará contribuir a la mejora continua en la eficiencia de los procesos, reduciendo riesgos para los seres humanos y al medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUDELO, Asdrúbal. *Formas Geométricas, S.A.: catálogo de productos, superficies perfectas.* Guatemala: Formas Geométricas, S.A., 2002. 8 p.
2. AGUDELO, Asdrúbal. *Formas Geométricas, S.A.: plan de trabajo, normativas y condiciones de trabajo.* Guatemala: Formas Geométricas, S.A., 2000. 35 p.
3. AQUILANO, Chase Jacobs. *Administración de la producción y operaciones.* 10a ed. México: McGraw-Hill, 2005. 164 p.
4. BELMONTE SÁNCHEZ, Antonio. *Análisis de la reutilización de residuos Silestone en la fabricación de mezclas bituminosas.* Universidad de Granada-España: 2011. 29 p.
5. Centro Tecnológico del Mármol. *Fomento de buenas prácticas en el control del polvo y sílice cristalina en los procesos de elaboración de corte de rocas ornamentales y cuarzos compactos en la industria del mármol de la Región de Murcia.* España: Instituto de Seguridad y Salud Laboral, 2011. 71 p.
6. GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo, ingeniería de métodos.* 2a ed. México: McGraw-Hill, 2000. 459 p.

7. GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto. *Calidad total y productividad*. 3a ed. México: McGraw-Hill, 2008. 363 p.
8. LASSO GALINDO, Luis Miguel; SÁNCHEZ MANCHOLA, Marcos. *Industria mármolera*. Trabajo de investigación, Universidad de Tolima, Palermo-Neiva, 2010. 26 p.
9. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Política Nacional de Producción más Limpia*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2010. 50 p.
10. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Guía práctica para el manejo de residuos en el sector público Guatemalteco*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006. 52 p.
11. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente*. Congreso de la República de Guatemala. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 1986. 16 p.
12. NIEBEL, Benjamín, FREIVALS W. *Ingeniería industrial: métodos y tiempos*. 11a ed. México: Alfaomega, 2004. 752 p.

ANEXOS

Anexo 1. Norma ASTM E 11-61

Abertura en mm	USA standard ASTM E 11-61	Número mesh de Tyler (mesh/in.)	British standard (mesh/in.)
0,037	400	400	—
0,044	325	325	—
0,045	—	—	350
0,053	270	270	300
0,063	230	250	240
0,074	200	200	—
0,075	—	—	200
0,088	170	170	—
0,090	—	—	170
0,105	140	150	150
0,125	120	115	120
0,149	100	100	—
0,150	—	—	100
0,177	80	80	—
0,180	—	—	85
0,210	70	65	72
0,250	60	60	60
0,297	50	48	—
0,300	—	—	52
0,354	45	42	—
0,355	—	—	44
0,420	40	35	35
0,500	35	32	30
0,595	30	28	—
0,600	—	—	25
0,707	25	24	—
0,710	—	—	22
0,841	20	20	—
1,00	18	16	16
1,19	16	14	—
1,20	—	—	14
1,41	14	12	—
1,68	12	10	10
2,00	10	9	8

Fuente: *MESH ASTM*. <http://www.cenunez.com.ar/archivos/55-Enrelacinalostamicenormalizados.pdf>. Consulta: 19 de noviembre de 2015.

Anexo 2. Principales políticas e instrumentos ambientales en Guatemala

Principales políticas ambientales e instrumentos para su implementación	
Año	Política o instrumento
1985	Constitución Política de la República de Guatemala
1986	Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto 68-86
1989	Ley de Áreas Protegidas, Decreto 4-89
1994-96	Acuerdos de Paz, Firma de la Paz Firme y Duradera
1997	Programa Forestal Nacional
1999	Comisión Nacional de Agricultura Ecológica, Política Agraria de Guatemala, Política de Asentamientos Humanos en Áreas Protegidas, Política Forestal de Guatemala, Política Nacional de Biodiversidad
2000	Agenda Estratégica Nacional de Ambiente y Recursos Naturales 2000-2004, Comisión de Plaguicidas del MSPAS, Políticas Culturales y Deportivas de la Nación
2001	Comité Arrecifal Nacional, Política de Desarrollo Social y Población, Política Nacional para la Industrialización del País, SIPECIF, Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y Sequía (PROANDYS)
2003	Agenda Nacional Forestal, Comisión Multisectorial de Coordinación y Apoyo para el Manejo de los Desechos Sólidos Hospitalarios, Política Marco de la Gestión Ambiental, Política de Equidad de Género en el Sector de la Gestión Ambiental, Programa Nacional de Cambio Climático
2002	Comité de Orientación y Asesoría de la Biodiversidad (CONADIBIO)
2004	Comisión Nacional de Agua, Estrategia Gubernamental Ambiente Guate Verde 2004-2008, Plan Nacional de Desarrollo Cultural a Largo Plazo, Política de Co-administración en Áreas Protegidas, Política Nacional de Educación Ambiental, Programa Nacional de Vigilancia de Calidad de Agua para Consumo Humano
2005	Comisión Presidencial Reverdecer Guatemala, Plan Nacional de Desarrollo Cultural a Largo Plazo, Política de Desarrollo Rural, Política Nacional de Humedales, Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutrición, Política Nacional para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos Sólidos
2006	Estrategia y Política Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, Política de Desarrollo Rural Integral
2007	Plan de Manejo del Lago de Atitlán; Política de Conservación, Protección y Mejoramiento del Ambiente y los Recursos Naturales; Política de Producción más Limpia para Guatemala; Política Energética y Minera
2008	Agenda ambiental a partir de la perspectiva de los pueblos indígenas, Estrategia Nacional de Manejo y Conservación de Tierras Comunes, Estrategia para Reducir el Uso de Sustancias Agotadoras del Ozono, Estrategia para la Conservación del Manatí, Gabinete Específico del Agua, Gabinete Socioambiental, Plan Estratégico Institucional del MARN 2008-2012, Plan de Seguridad en Áreas Protegidas, Política Agropecuaria 2008-2012, Política para el Manejo Integral de la Zona Marino Costera de Guatemala (borrador)
2009	Declaración de Antigua para el Manejo Sostenible de Tierras; Programa de Control y Monitoreo de Contaminantes Microbiológicos, Sustancias Químicas y Características Físicas del Agua, Política Nacional de Cambio Climático (en elaboración)

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Informe Ambiental del Estado de Guatemala: Gestión Ambiental*. p. 269.

Anexo 3. Instrumentos de política que regulan los sistemas ambientales en Guatemala

Instrumentos de política que regulan los sistemas ambientales en Guatemala	
Sistema	Instrumentos de política
Atmosférico	Sin normativo, para el monitoreo de la calidad del aire, la USAC emplea normas y criterios de la OMS.
Hídrico	Política y Estrategia Nacionales de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, Código de Salud, Código Municipal, normativos municipales y de varias instituciones, que incluyen OG (MARN, MAGA, MSPAS, MEM, INSIVUMEH, Instituto de Fomento Municipal -INFOM-, Instituto Nacional de Electrificación -INDE-, INAB, CONAP, EMPAGUA); universidades (USAC, UVG y URL), ONG, municipalidades, autoridades de cuenca y el sector privado.
Lítico	Ley de Minería y su reglamento.
Edáfico	Ley del Fondo de Tierras, Ley de Transformación Agraria, Ley Forestal y sus reglamentos, Ley Reguladora de las Áreas de Reservas Territoriales del Estado, Ley de Minería del Ministerio de Energía y Minas y Declaración de Antigua para el Manejo Sostenible de Tierras.
Biótico	Ley de Áreas Protegidas, Ley Forestal y sus reglamentos, listas rojas de flora y fauna, leyes específicas que declaran áreas protegidas, Política y Agenda Forestal, Política de Biodiversidad.
Audiovisuales	Ley de Anuncios, Reglamento para la Colocación de Rótulos y reglamentos municipales específicos.
Bienes naturales y culturales	Ley de Áreas Protegidas y Ley para la Protección del Patrimonio Cultural y sus reglamentos, leyes específicas que declaran monumentos culturales y naturales, políticas culturales y deportivas y el Plan de Desarrollo Cultural a Largo Plazo.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Informe Ambiental del Estado de Guatemala: Gestión Ambiental.* p. 269.

