

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



PROPUESTA DE DISEÑO DE UN PROCESO DE
REFINAMIENTO DE ACEITE DE CARDAMOMO SEGÚN LA
NORMA ISO 9001:2015

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por

Víctor Eduardo Orellana de León

para optar al grado académico de Licenciado en

Ingeniería Química Industrial

Guatemala

2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



PROPUESTA DE DISEÑO DE UN PROCESO DE
REFINAMIENTO DE ACEITE DE CARDAMOMO SEGÚN LA
NORMA ISO 9001:2015

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Víctor Eduardo Orellana de León
para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Química Industrial

Guatemala

2023

Vo. Bo. :

(f)

Ing. Gamaliel Zambrano

Tribunal Examinador:

(f)

Ing. Gamaliel Zambrano

(f)

Ing. Carmen Ortiz

(f)

Ing. María José Ramos

Fecha de aprobación: Guatemala, 21 de agosto de 2023

ÍNDICE

	Página
LISTA DE CUADROS	iii
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE ECUACIONES.....	viii
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	2
A. OBJETIVO GENERAL.....	2
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	5
A. CARDAMOMO	5
B. ACEITES ESENCIALES	8
C. ACEITE DE CARDAMOMO	11
D. NORMATIVAS DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD	15
E. ETAPAS DEL PROCESO.....	39
F. DISEÑO DE UNA PLANTA EN INGENIERÍA	41
G. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO Y TUBERÍAS	42
H. CROMATOGRAFÍA DE GASES PARA ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
I. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	58
V. ANTECEDENTES.....	60
VI. METODOLOGÍA	61

VII. RESULTADOS.....	69
A. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	69
B. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS.....	74
C. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.....	76
D. ANÁLISIS DE BRECHAS DEL PROCESO SEGÚN LA ISO 9001:2015.....	77
VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS	81
IX. CONCLUSIONES	89
X. RECOMENDACIONES	90
XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
XII. ANEXOS	94
A. DATOS ORIGINALES	94
B. CÁLCULOS DE MUESTRA.....	96
C. DATOS CALCULADOS	100
D. CROMATOGRAMAS	103
E. ANÁLISIS DE CONCENTRACIÓN DE COMPONENTES.....	143
F. METODOLOGÍAS DE LA AOCS PARA ANÁLISIS DE ACEITE DE CARDAMOMO	144
G. ANÁLISIS T VS ρ	154
H. FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS Y HOJAS DE PCC	159
I. COTIZACIONES DE EQUIPOS	165
J. DIAGRAMAS DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS	170
K. MANUAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA ISO 9001:2015 AL PROCESO DE REFINAMIENTO DE ACEITE DE CARDAMOMO	175

LISTA DE CUADROS

<i>Cuadro 1: Caracterización nutricional del cardamomo</i>	<i>5</i>
<i>Cuadro 2: Caracterización de aceite de cardamomo extraído por fluidos supercríticos con semillas del suroeste de Antioquía.</i>	<i>12</i>
<i>Cuadro 3: Caracterización del aceite de cardamomo no refinado.....</i>	<i>69</i>
<i>Cuadro 4: Caracterización fisicoquímica del aceite de cardamomo refinado.....</i>	<i>69</i>
<i>Cuadro 5: Variación porcentual de los parámetros considerados en la parametrización de aceite de cardamomo con base en los valores iniciales.....</i>	<i>69</i>
<i>Cuadro 6: Descripción general del aceite de cardamomo como producto terminado</i>	<i>70</i>
<i>Cuadro 7: Características del refrigerador industrial.....</i>	<i>74</i>
<i>Cuadro 8: Características del tanque multipropósito de burbujeo</i>	<i>74</i>
<i>Cuadro 9: Características del compresor</i>	<i>74</i>
<i>Cuadro 10: Características del burbujeador (tubo horizontal).....</i>	<i>75</i>
<i>Cuadro 11: Características de las bombas centrífugas</i>	<i>75</i>
<i>Cuadro 12: Características de las tuberías.....</i>	<i>75</i>
<i>Cuadro 13: Datos iniciales de refrigeración.....</i>	<i>94</i>
<i>Cuadro 14: Dimensiones de un tonel de aireamiento actual.....</i>	<i>94</i>
<i>Cuadro 15: Características del sistema de burbujeo actual</i>	<i>94</i>
<i>Cuadro 16: Características iniciales de los procesos de refinamiento estudiados</i>	<i>94</i>
<i>Cuadro 17: Datos para el cálculo del decantador.....</i>	<i>94</i>
<i>Cuadro 18: Áreas de cromatograma de aceite de cardamomo, proceso 1</i>	<i>94</i>
<i>Cuadro 19: Áreas de cromatograma de aceite de cardamomo, proceso 2</i>	<i>95</i>
<i>Cuadro 20: Áreas de cromatograma de aceite de cardamomo, proceso 3</i>	<i>95</i>
<i>Cuadro 21: Áreas de cromatograma de aceite de cardamomo, proceso 4</i>	<i>95</i>
<i>Cuadro 22: Áreas de cromatograma de aceite de cardamomo, proceso 5</i>	<i>95</i>
<i>Cuadro 23: Cálculo de la carga frigorífica del refrigerador</i>	<i>100</i>
<i>Cuadro 24: Determinación del caudal utilizado en los procesos de burbujeo de aceite actuales</i>	<i>100</i>
<i>Cuadro 25: Determinación del volumen de aire utilizado en el proceso de burbujeo de aceite.....</i>	<i>100</i>
<i>Cuadro 26: Caudal actual promedio.....</i>	<i>100</i>
<i>Cuadro 27: Determinación de la velocidad lineal del aire del compresor</i>	<i>100</i>
<i>Cuadro 28: Cálculo del compresor adiabático.....</i>	<i>100</i>

<i>Cuadro 29: Selección del diámetro de tubería para el compresor, según la velocidad lineal del aire.....</i>	<i>101</i>
<i>Cuadro 30: Selección de características del burbujeador</i>	<i>101</i>
<i>Cuadro 31: Selección de la potencia de las bombas centrífugas</i>	<i>101</i>
<i>Cuadro 32: Cálculo del tanque de decantación.....</i>	<i>101</i>
<i>Cuadro 33: Concentración inicial promedio de los compuestos del aceite de cardamomo determinados por cromatografía de gases.....</i>	<i>101</i>
<i>Cuadro 34: Concentración final promedio de los compuestos del aceite de cardamomo determinados por cromatografía de gases.....</i>	<i>102</i>
<i>Cuadro 35: Ficha técnica del refrigerador</i>	<i>159</i>
<i>Cuadro 36: Ficha técnica de decantador multipropósito</i>	<i>160</i>
<i>Cuadro 37: Ficha técnica del burbujeador</i>	<i>161</i>
<i>Cuadro 38: Ficha técnica del compresor</i>	<i>162</i>
<i>Cuadro 39: Ficha técnica de las bombas centrífugas</i>	<i>163</i>
<i>Cuadro 40: Hoja de control de Puntos de Control Críticos (PCC).....</i>	<i>164</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Mercado Global de Cardamomo 2019 (tamaño de mercado por región).....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2: Diagrama del ciclo PDCA, tropicalizado a español.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3: Rangos de operación de compresores.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 4: Rangos de operación de compresores y sopladores.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5: Tipos de compresores.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 6: Tabla de relaciones para tanques verticales, según estándares API.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 7: Guía para la selección de bombas centrífugas. *Single-stage > 1750 rpm, multistage 1750 rpm.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 8: Pérdidas de presión en tuberías debido a accesorios y válvulas (para flujo turbulento).....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 9: Tamaños de tuberías estándar de acero según el ANSI.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 10: Velocidades típicas y caídas de presión en tuberías.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 11: Velocidades lineales de equipos- de transporte de fluidos, en ft/s.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 12: Cromatograma generado por un cromatógrafo de gases.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 13: Diagrama de decisiones del proceso actual de refinamiento de aceite de cardamomo.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 14: Cromatograma de proceso 1.1 (Aceite de cardamomo no refinado).....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 15: Tabla de valores de cromatograma de proceso 1.1.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 16: Cromatograma de proceso 1.2 (Aceite de cardamomo no refinado).....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 17: Tabla de valores de cromatograma de proceso 1.2.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 18: Cromatograma de proceso 1.3 (Aceite de cardamomo no refinado).....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 19: Tabla de valores de cromatograma de proceso 1.3.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 20: Cromatograma de proceso 1 (Aceite de cardamomo refinado).....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 21: Tabla de valores de cromatograma de proceso 1.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 22: Cromatograma de proceso 2.1 (Aceite de cardamomo no refinado).....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 23: Tabla de valores de cromatograma de proceso 2.1.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 24: Cromatograma de proceso 2.2 (Aceite de cardamomo no refinado).....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 25: Tabla de valores de cromatograma de proceso 2.2.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 26: Cromatograma de proceso 2.3 (Aceite de cardamomo no refinado).....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 27: Tabla de valores de cromatograma de proceso 2.3.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 28: Cromatograma de proceso 2 (Aceite de cardamomo refinado).....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 29: Tabla de valores de cromatograma de proceso 2.....</i>	<i>118</i>

<i>Figura 30: Cromatograma de proceso 3.1 (Aceite de cardamomo sin refinar).....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 31: Tabla de valores de cromatograma de proceso 3.1.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 32: Cromatograma de proceso 3.2 (Aceite de cardamomo sin refinar).....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 33: Tabla de valores de cromatograma de proceso 3.2.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 34: Cromatograma de proceso 3.3 (Aceite de cardamomo sin refinar).....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 35: Tabla de valores de cromatograma de proceso 3.3.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 36: Cromatograma de proceso 3 (Aceite de cardamomo refinado).....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 37: Tabla de valores de cromatograma de proceso 3</i>	<i>126</i>
<i>Figura 38: Cromatograma de proceso 4.1 (Aceite de cardamomo sin refinar).....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 39: Tabla de valores de cromatograma de proceso 4.1.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 40: Cromatograma de proceso 4.2 (Aceite de cardamomo sin refinar).....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 41: Tabla de valores de cromatograma de proceso 4.2.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 42: Cromatograma de proceso 4.3 (Aceite de cardamomo sin refinar).....</i>	<i>131</i>
<i>Figura 43: Tabla de valores de cromatograma de proceso 4.3.....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 44: Cromatograma de proceso 4 (Aceite de cardamomo refinado).....</i>	<i>133</i>
<i>Figura 45: Tabla de valores de cromatograma de proceso 4</i>	<i>134</i>
<i>Figura 46: Cromatograma de proceso 5.1 (Aceite de cardamomo sin refinar).....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 47: Tabla de valores de cromatograma de proceso 5.1.....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 48: Cromatograma de proceso 5.2 (Aceite de cardamomo sin refinar).....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 49: Tabla de valores de cromatograma de proceso 5.2.....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 50: Cromatograma de proceso 5.3 (Aceite de cardamomo sin refinar).....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 51: Tabla de valores de cromatograma de proceso 5.3.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 52: Cromatograma de proceso 5 (Aceite de cardamomo refinado).....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 53: Tabla de valores de cromatograma de proceso 5</i>	<i>142</i>
<i>Figura 54: Comportamiento del compuesto Eucaliptol con el proceso de aireado</i>	<i>143</i>
<i>Figura 55: Comportamiento del compuesto Terpeneol con el proceso de aireado</i>	<i>143</i>
<i>Figura 56: Masa de la porción de muestra, g</i>	<i>148</i>
<i>Figura 57: Rango de ácidos grasos libres, volumen de alcohol y grado alcalino</i>	<i>150</i>
<i>Figura 58: Baño térmico ThermoScientific utilizado para el análisis de densidad vs temperatura</i>	<i>154</i>
<i>Figura 59: Cristalería utilizada para en análisis de densidad vs temperatura.....</i>	<i>154</i>
<i>Figura 60: Muestras de aceite de cardamomo analizadas para el análisis de densidad vs temperatura ...</i>	<i>155</i>

<i>Figura 61: Metodología de enfriamiento de las muestras en tubos de ensayo</i>	<i>155</i>
<i>Figura 62: Muestra de aceite de cardamomo enfriada a 5°C en el baño térmico</i>	<i>156</i>
<i>Figura 63: Muestra de aceite de cardamomo enfriada a 7°C en el baño térmico</i>	<i>156</i>
<i>Figura 64: Muestra de aceite de cardamomo enfriada a 9°C en el baño térmico</i>	<i>157</i>
<i>Figura 65: Muestra de aceite de cardamomo enfriada a 11°C en el baño térmico</i>	<i>157</i>
<i>Figura 66: Muestra de aceite de cardamomo enfriada a 13°C en el baño térmico</i>	<i>158</i>
<i>Figura 67: Muestra de aceite de cardamomo enfriada a 13°C en el baño térmico</i>	<i>158</i>
<i>Figura 68: Cotización de una bomba centrífuga de ½ hp marca Aquastrong</i>	<i>165</i>
<i>Figura 69: Cotización de una bomba centrífuga de ½ hp marca Ingco.</i>	<i>165</i>
<i>Figura 70: Cotización de una bomba centrífuga de 1/2 hp marca Little Giant</i>	<i>166</i>
<i>Figura 71: Cotización de compresor de 2 hp marca Big Red</i>	<i>166</i>
<i>Figura 72: Cotización de un compresor de 1 hp marca Truper</i>	<i>167</i>
<i>Figura 73: Cotización de un compresor de 1 hp marca BBT.</i>	<i>167</i>
<i>Figura 74: Cotización de un refrigerador de 306 L marca Fogel.</i>	<i>168</i>
<i>Figura 75: Cotización de tubería galvanizada para aire comprimido</i>	<i>168</i>
<i>Figura 76: Cotización de tubería de acero inoxidable 304 SCH40 para aceite de cardamomo</i>	<i>169</i>
<i>Figura 77: Diagrama de área de refinamiento de aceite de cardamomo, vista aérea.</i>	<i>171</i>
<i>Figura 78: Diagrama de dimensiones de tuberías para tanque multipropósito y compresor, vista frontal.</i>	<i>172</i>
<i>Figura 79: Diagrama de dimensiones para tanque multipropósito y compresor, vista frontal.</i>	<i>173</i>
<i>Figura 80: Diagrama de dimensiones de refrigerador, tonel y bomba centrífuga, vista frontal</i>	<i>174</i>

LISTA DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1: Carga frigorífica.....</i>	<i>42</i>
<i>Ecuación 2: Ponderación del calor específico en una mezcla</i>	<i>42</i>
<i>Ecuación 3: Potencia frigorífica.....</i>	<i>42</i>
<i>Ecuación 4: Potencia de un compresor adiabático ideal.....</i>	<i>45</i>
<i>Ecuación 5: Volumen de un cilindro</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 6: Simplificación del volumen de un tanque.....</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 7: Volumen de un tanque de proceso</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 8: Diámetro de agujero de un burbujeador.....</i>	<i>48</i>
<i>Ecuación 9: Número de burbujas en el burbujeador</i>	<i>48</i>
<i>Ecuación 10: Área para transferencia de masa en el burbujeador</i>	<i>48</i>
<i>Ecuación 11: Potencia de una bomba centrífuga</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 12: Determinación de diámetro de tubería óptimo para fluidos con régimen turbulento.....</i>	<i>54</i>
<i>Ecuación 13: Determinación de diámetro de tubería óptimo para fluidos con régimen turbulento.....</i>	<i>54</i>
<i>Ecuación 14: Media aritmética.....</i>	<i>58</i>
<i>Ecuación 15: Desviación estándar.....</i>	<i>58</i>
<i>Ecuación 16: Incertidumbre de sumas y restas</i>	<i>59</i>
<i>Ecuación 17: Incertidumbre de multiplicaciones y divisiones</i>	<i>59</i>
<i>Ecuación 18: Incertidumbre relativa</i>	<i>59</i>

RESUMEN

Se construyó una propuesta de diseño para un proceso de refinamiento de aceite de cardamomo buscando que este cumpla las directrices de la normativa internacional ISO 9001:2015 sobre Sistemas de Gestión de la Calidad (SGC). El proceso de refinamiento consta de la eliminación de agua residual, proveniente de la extracción del aceite y posteriormente un aireamiento para que, mediante oxidación, el aceite pueda adquirir propiedades organolépticas finales para su distribución y venta. Para ello, se caracterizó fisicoquímicamente en triplicado tanto el aceite sin refinar, como el aceite refinado para determinar sus características iniciales y de producto terminado, las cuales se muestran detalladamente en la sección de Resultados > Caracterización de materiales. Las características evaluadas mostraron un aumento en sus valores debido a la oxidación realizada (Cuadro 5). Por otro lado, se construyó el diagrama de flujo, en el cual se muestran los equipos dimensionados para el proceso (Resultados > Dimensionamiento de equipos, Resultados > Diagrama de flujo). Por último, se realizó un análisis de brechas del proceso según la normativa ISO 9001:2015 para comparar el proceso propuesto con los requisitos de la norma. Se determinó que el índice de peróxidos es la característica que más refleja la oxidación del aceite, la cual puede ser utilizada como indicador para la estandarización de las propiedades del producto terminado, por otro lado, la propuesta del proceso se basó en una industrialización de las partes empíricas del proceso original, permitiendo así que sea controlable y más seguro física y técnicamente, finalmente el análisis de brechas se plasmó en un manual para la implementación de la ISO 9001:2015 en el proceso de la EMPRESA.

I. INTRODUCCIÓN

El cardamomo es una planta proveniente de la India que posee diversos usos. Tiene aplicaciones en la gastronomía de algunos países, en la industria cosmética y en la medicinal. En las últimas dos industrias mencionadas, su presentación más común es como aceite esencial. Guatemala es el país número uno en producción y exportación de cardamomo a nivel mundial, teniendo en 2017 exportaciones de US\$ 367 millones, lo cual representa aproximadamente el 1% del PIB del país (AGEXPORT, 2022).

La denominada a partir de ahora como EMPRESA, se dedica a la producción y refinamiento de aceite de cardamomo, entre otros productos. Sin embargo, el cardamomo en su presentación de aceite esencial no cuenta con un mercado tan amplio como su similar en semilla. La EMPRESA debe contar con licencias y con el cumplimiento de normas para ser apta para vender producto a la industria alimenticia y farmacéutica, y para ello buscan mejorar sus procesos, siendo parte de esas mejoras la implementación de líneas de producción eficientes, construidas y diseñadas para aportar el máximo rendimiento al proceso, que cumplan con los requerimientos previamente mencionados para poder generar un producto de calidad al mercado nacional e internacional.

El presente trabajo propone un diseño para el proceso de refinamiento de aceite de cardamomo, en el cual se pueda optimizar la disposición de los equipos principales y auxiliares en el área requerida para obtener el mayor rendimiento posible de producción y abastecimiento a los clientes, sin olvidar los estándares de calidad que la EMPRESA debe cumplir.

II. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

A. OBJETIVO GENERAL

Proponer el diseño de un proceso de refinamiento de aceite de cardamomo para el cumplimiento de la norma ISO 9001:2015.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar el aceite de cardamomo antes y después del refinamiento, determinando sus propiedades físicas y químicas para la estandarización del proceso a proponer.
2. Dimensionar los equipos principales y auxiliares, utilizando el balance de masa y energía del proceso, para optimizar el área requerida.
3. Realizar una evaluación de las características del proceso propuesto según la norma ISO 9001:2015 para validar el cumplimiento de requerimientos según la normativa internacional.

III. JUSTIFICACIÓN

El cardamomo es una planta proveniente de la India, la cual es utilizada en la gastronomía de diversos países, además de tener propiedades medicinales (Nabor, 2022). Entre sus propiedades más destacadas se encuentran: como aceite esencial, es un espasmódico natural, relaja las vías respiratorias, ayuda a tratar la tos y dificultades respiratorias como el asma. Además, es una excelente fuente de minerales y debido a su alto contenido de hierro y cobre, tiene un papel fundamental para el metabolismo energético celular (genera células rojas), por último, su potasio ayuda a la salud cardiovascular (ExoticNat, 2020).

Por todo lo descrito anteriormente, el cardamomo es una planta muy útil, especialmente para usar como aceite esencial. Guatemala es el mayor productor de cardamomo a nivel mundial y número uno en exportación. Tal es el impacto de esta planta en el país que su producción y exportación representa el 1% del PIB. En el 2017, el Banco de Guatemala reportó una cantidad de US\$ 367 millones, justificando así, su importancia en la economía del país (AGEXPORT, 2022).

Conociendo la importancia de la producción de cardamomo en Guatemala, existen diferentes empresas que se dedican a la elaboración de este aceite esencial, para aportar a la demanda nacional y cumplir con exportaciones hacia países de Norteamérica, Europa y Asia, por ejemplo. Estas empresas deben cumplir en sus plantas de producción con requisitos de inocuidad, normas de calidad y demás para generar un producto de calidad, lo cual empieza por la optimización de sus líneas de proceso, las cuales hacen posible abastecer la demanda del mercado nacional e internacional.

El diseño de plantas es una habilidad que un ingeniero químico posee y permite hacer realidad, a diferentes escalas, la elaboración y manufactura de diversos productos necesarios para el mercado. Para diseñar una planta, un ingeniero debe tener un objetivo inicial, para evaluar condiciones técnicas, económicas, ambientales, entre otras, para encontrar el mejor diseño que cumpla con lo requerido por el proceso, en otras palabras, buscar el diseño que optimice el proceso que se esté analizando (Towler & Sinnott, 2008).

La EMPRESA se dedica desde hace un largo tiempo a la fabricación de aceite de cardamomo. Siendo una empresa guatemalteca, ha crecido en el mayor productor y exportador de cardamomo del mundo. El mercado nacional e internacional les ha permitido crecer a lo largo del tiempo y su necesidad de estar a la vanguardia con tecnología y normativa que les permitan seguir

laburando correctamente en los mercados mencionados es primordial. Por lo que, para ellos, es de gran utilidad contar con el dimensionamiento, características de sus equipos y materias primas, saber la disposición de su planta y, sobre todo, que esta cumpla con los estándares, normas y licencias para continuar negociando y produciendo para sus clientes.

La principal intención del presente trabajo es industrializar el proceso productivo de la EMPRESA, enfocándose en el diseño del flujo de materias primas, tomando el proceso como se realiza actualmente, para que pueda cumplir los requerimientos que exige la norma ISO 9001:2015 de Sistemas de Gestión de Calidad (SGC), tomándose como un comienzo para el proceso de aplicación a la certificación de la normativa internacional.

El enfoque de trabajar sobre el proceso actual es que los volúmenes trabajados por la EMPRESA son considerablemente bajos, los cuales son fácilmente manejables a lo largo de la temporada de producción de aceite de cardamomo, por lo cual no es necesario implementar una mejora que permita aumentar la productividad para ahorros de tiempo, sino que la principal razón es el cumplimiento de los requerimientos de que dictamina un SGC para aplicar a la ISO 9001:2015.

Un correcto análisis de los requerimientos de la ISO 9001 permitirá a la empresa ampliar sus posibilidades de comercio tanto nacional e internacional para el comercio de un producto de calidad garantizada para cualquier industria que lo necesite.

IV. MARCO TEÓRICO

A. CARDAMOMO

1. Origen y características:

El cardamomo, cuyo nombre científico es *Elletaria cardamomun*, es una planta herbácea perenne del orden Zingiberaceae. Es originaria de la India meridional, pero con el paso del tiempo, diversos países se han dedicado su cultivo: Guatemala, Arabia Saudita, India, Singapur y Paquistán, son algunos de los mayores productores de cardamomo a nivel mundial, los cuales concentran hasta el 73% de las importaciones (Villeda M. , 2015).

Esta planta cuenta con raíces de hasta 1.5 m de largo y tallos con envergadura de 2 a 4 metros de alto. Las flores aparecen en los nudos de los tallos y el fruto es una cápsula oblonga, el cual mide de 0.5 a 2.5 cm de largo, las cuales guardan en su interior semillas negras de aproximadamente 4 mm de largo por 3 mm de ancho. Una cápsula contiene alrededor de 15 a 26 semillas (Gil Pavas & Sáez Vega, 2000). El contenido nutricional del cardamomo por cada 100 gramos es el siguiente:

Cuadro 1: Caracterización nutricional del cardamomo

Proteína	10.8 g
Kilocalorías	311
Agua	8.30 g
Grasa total	6.70 g
Ácidos grasos saturados	0.88 g
Ácidos grasos mono saturados	0.87 g
Poliinsaturados	0.43 g
Colesterol	0.00 g
Carbohidratos	52.5 g
Fibra cruda	11.3 g
Cenizas	5.50 g
Calcio	0.58 g
Fósforo	0.178 g
Hierro	0.014 g
Sodio	0.018 g
Potasio	1.119 g
Magnesio	0.229 g
Zinc	0.747 g

El cultivo de cardamomo requiere sombra, motivo por el cual se utilizan árboles como nogal y el cedro para aprovechar el recurso maderable. La altitud preferible es entre 1,200 y 1,800 msnm y con precipitaciones ideales de 2,000 mm/año, características que un bosque húmedo posee. El fertilizante utilizado es humus de lombricultura. El cardamomo se produce durante todo el año, recolectando cada dos meses. El año de cosecha es aproximadamente dos o tres años después de la siembra (Gil Pavas & Sáez Vega, 2000).

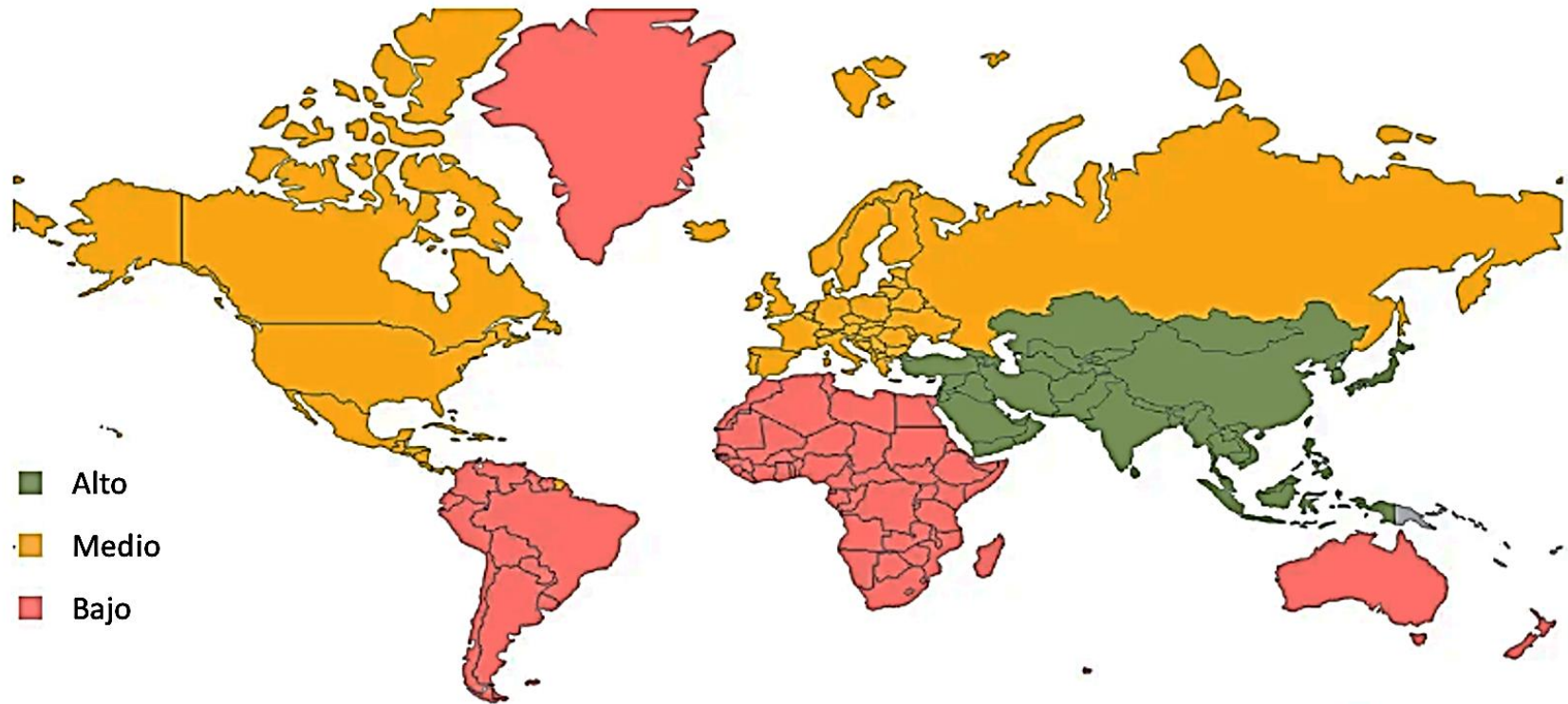
La cosecha de cardamomo en Guatemala es abundante, como se verá a continuación. Cualitativamente, el suelo guatemalteco cuenta con diferentes cualidades que hacen que la producción de cardamomo tenga rendimientos bastante elevados: 1. Lluvia distribuida uniformemente, con lluvias ligeras incluso en meses secos. 2. Suelo con los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta. 3. Ausencia relativa de plagas y enfermedades, lo cual conlleva a una mejor actividad de polinización por parte de los insectos encargados de esta labor. En el norte de Guatemala se ha logrado obtener altos rendimientos de cardamomo a pesar de cosecharse en suelo desfavorable (rocoso y con exceso de agua) utilizando un plan fuerte de fertilizantes y un programa de control de plagas y malezas. Los rendimientos reportados son de 360 kg de cardamomo seco por hectárea (Govindarajan, Narasimhan, Raghuveer, & Lewis, 1986).

2. Cifras del mercado nacional e internacional

Guatemala es el mayor productor de cardamomo a nivel mundial y número uno en exportación. Mueve casi el 1% del PIB del país, logrando exportar así en 2017 US\$ 367 millones, según el Banco de Guatemala. Se produce principalmente en cinco departamentos (Huehuetenango, Alta y Baja Verapaz, Izabal y Quiché), permitiendo que la economía de algunos municipios dependa en un 70% de la producción de esta planta. La producción de cardamomo a nivel nacional se logra gracias a la contribución de alrededor de 300 mil pequeños agricultores, los cuales su cosecha anual representa la totalidad de sus ingresos (AGEXPORT, 2022).

Se proyecta que el mercado internacional de cardamomo registre una tasa compuesta de crecimiento anual de 5.7% durante el periodo de 2020-2025, sin embargo, su precio es inestable en el marco internacional ya que importadores como Arabia Saudita y Emiratos Árabes Unidos fueron irregulares durante la pandemia del COVID 19, además hubo una disminución de la oferta mundial debido a las malas condiciones de cosecha en los principales países productores (Intelligence, 2023).

Figura 1: Mercado Global de Cardamomo 2019 (tamaño de mercado por región)



- Alto
- Medio
- Bajo

Fuente: Mordor Intelligence



B. ACEITES ESENCIALES

Son líquidos volátiles, aceitosos e hidrofóbicos, caracterizados por un aroma concentrado de la flor, cáscara, rizoma, capullo, semilla, hoja, rama, corteza, fruta, raíz, de la cual estén formados. Los aceites esenciales con una característica específica son obtenidos de una sola especie botánica en un tiempo especial, donde la planta tiene una edad indicada, el clima es el mismo y las características de cosecha también. Se les llama aceites esenciales debido a que están constituidos por la esencia del material vegetal que se trató física y químicamente para obtener su esencia (Fongang & Bankeu, 2020).

Generalmente, son incoloros, pero algunos tipos pueden ser color amarillo pálido, azul, naranja y verde. Son insolubles en agua, y solubles en solventes orgánicos no polares o débilmente polares. Son fácilmente oxidables por factores como luz, calor y aire, deben almacenarse en lugares frescos y de preferencia en recipientes color ámbar para protegerlos de la luz (Fongang & Bankeu, 2020).

1. Composición del aceite esencial:

Generalmente, los aceites esenciales contienen una amplia cantidad de hidrocarburos de cadena corta. Cada tipo de estos compuestos aporta un olor característico al aceite (Tisserand & Young, 2014). Los mayores constituyentes de la mayoría de los aceites son terpenoides, compuestos de cadena lineal sin cadenas laterales, componentes aromáticos y fenólicos y sulfuros derivados. La variación de olor y color en los diferentes aceites depende del material vegetal y de los compuestos que éste tenga. Además, la cosecha, clima, ubicación geológica y geográfica juegan un rol importante en sus características (Fongang & Bankeu, 2020).

2. Terpenos

Son compuestos aromáticos y volátiles que están constituidos por monómeros de isopreno, hidrocarburo de 5 carbonos. Los terpenos son metabolitos secundarios, encargado de generar características organolépticas en las plantas que sirven para hacer aceites esenciales. En plantas, los terpenos cumplen distintas funciones: son producidos tanto para repeler insectos y herbívoros que se alimentan de ellas. Estos producen un sabor amargo que hace que no se interesen en consumirlas. Por otro lado, también tienen la capacidad de atraer a insectos que son beneficiosos para la planta, como polinizadores o depredadores de insectos herbívoros. Las plantas a medida que sienten incrementos de temperatura sintetizan más terpenos y a mayores temperaturas se liberan en mayor grado. Se ha comprobado que los terpenos tienen una actividad biológica y terapéutica

importante, constituyendo así la base farmacológica de la aromaterapia (Fundación_CANNA, 2023).

Por modificación bioquímica, los terpenos se oxidan y reordenan para producir terpenoides relacionados. Éstos son derivados oxigenados de terpenos de hidrocarburos como aldehídos, cetonas, alcoholes, éteres, etc. Los terpenoides son la clase más grande de productos naturales de plantas, teniendo más de 40,000 especies diferentes (Fongang & Bankeu, 2020).

3. Importancia de los terpenos en los aceites esenciales

Los terpenos son los compuestos más importantes en la constitución de los aceites esenciales. Los niveles de terpenos en diferentes aceites varían considerablemente. Muchos se utilizan con fines médicos, y son algunos los que tienen aplicaciones médicas establecidas (Fongang & Bankeu, 2020).

Los monoterpenos son los principales componentes de los aceites esenciales, y, por ende, de las flores y aromas. Tienen propiedades antioxidantes, anticonvulsivas, antiulcerosas, antiinflamatorias, antisépticas, antitumorales, antivirales, analgésicas, etc. El mecanismo general de acción y actividad antimicrobiana están relacionados con su volatilidad (Fongang & Bankeu, 2020)

4. Degradación de los aceites esenciales

Con el paso del tiempo, todos los compuestos químicos tienden a degradarse. En el caso específico de los aceites esenciales, la degradación suele suceder con almacenamientos prolongados, pero también por otros factores a los que está expuesto al momento de su producción. Cuando está expuesto al aire, a la luz o a ambientes con temperaturas elevadas este proceso se acelera, haciendo que el aceite pierda algunas de sus principales propiedades. El mantenerlo herméticamente guardado, en la oscuridad y a temperaturas bajas, ayuda a conservarlo (Fongang & Bankeu, 2020).

El oxígeno puede cambiar la composición química de un aceite esencial al reaccionar con constituyentes de éste. La oxidación del aceite tiende a ocurrir fácilmente en aceites esenciales ricos en monoterpenos y compuestos volátiles como estos. Específicamente estos son sensibles a la oxidación porque la mayoría son alquenos que poseen un doble enlace en su estructura, lo cual los hace más reactivos hacia el oxígeno, por ejemplo, los aceites insaturados se ponen “rancios” por esa razón. Además, la oxidación hace que los aceites esenciales se vuelvan menos efectivos para desempeñar las tareas medicinales (Tisserand & Young, 2014) que anteriormente se mencionaron.

El calor promueve reacciones endotérmicas en los aceites esenciales, haciendo que su energía de activación pueda ser alcanzada fácilmente. Actualmente, (Tisserand & Young, 2014) indican que no hay demasiada investigación sobre los efectos que el calor tiene sobre los aceites esenciales, pero si se sabe que las bajas temperaturas (4-6°C) son apropiadas para la conservación duradera de estos productos, alargando su vida útil hasta 12 meses. (Tisserand & Young, 2014) indican en su trabajo que estudios realizados a aceite de cardamomo y clavo, al ser extraído con CO₂, al estar expuestos a calor, los constituyentes más volátiles tendían a disminuir (debido a la oxidación), mientras que los más volátiles a aumentar. El aceite de cardamomo mostró una degradación considerable, mientras que el aceite de clavo no, debido a que el aceite de cardamomo es rico en monoterpenos y el aceite de clavo no.

La luz UV promueve la formación de radicales libres de oxígeno, los cuales son altamente reactivos. Esto promueve nuevamente la oxidación de los compuestos del aceite esencial (Tisserand & Young, 2014). Por último, el pH afecta la estabilidad del aceite, haciendo que a pH's menores que 4 la degradación tienda a producirse rápidamente (Tisserand & Young, 2014). Para prevenir la oxidación y la pérdida de propiedades del aceite esencial, se recomienda un almacenaje hermético y alejado de luz UV, o protegido de esta en todo caso. Se recomienda almacenar en un refrigerador, siempre teniendo en cuenta que la temperatura demasiado baja aumenta la viscosidad de los aceites, teniendo que elevar su temperatura para que fluyan nuevamente.

C. ACEITE DE CARDAMOMO

Como se mencionó anteriormente, el aceite de cardamomo es igual a cualquier otro tipo de aceite esencial en cuanto a su aspecto físico: líquido volátil, aceitoso e hidrofóbico. Sin embargo, cada aceite esencial posee características fisicoquímicas especiales de acuerdo con el material vegetal del cual se extraiga.

Los compuestos volátiles responsables del aroma y sabor del cardamomo principalmente son acetato de α -terpenilo, 1,8-cineol, α -terpinilo, limoneno, sabineno y pineno, entre otros (Villeda, y otros, 2017). Entre estas características influye el país productor de la semilla de cardamomo, pues como se mencionó con anterioridad, el clima de la cosecha influye en gran manera en la composición de la semilla.

1. Caracterización del aceite de cardamomo

En general, cuando se producen aceites esenciales para todos los usos anteriormente ya mencionados, se deben tomar en consideración las normas de calidad y pureza para producir un producto de calidad. La pureza y calidad de los aceites esenciales afectan su aroma, color, sabor y propiedades terapéuticas también. Existen pruebas cuantificables y otras más subjetivas para asegurar la calidad de un aceite esencial (EssentialOleum, 2023).

Estas pruebas subjetivas se refieren a determinar características organolépticas de los aceites esenciales tales como olor, color, sabor, viscosidad y textura. Todas estas pruebas permiten comprobar la calidad de un aceite esencial, ya que las pruebas cuantitativas pueden dar el mismo valor, sin embargo, el olor no es necesariamente el mismo siempre (EssentialOleum, 2023). Respecto al aroma, características como el clima, altitud, condiciones de cultivo, técnica de destilado o edad del aceite son determinantes para aportarle determinado aroma al aceite. Por otro lado, el color y la claridad (si hay sedimentos o nubosidad) pueden ser indicadores de un aceite esencial no confiable o viejo. Algunos se vuelven más oscuros a medida que envejecen, o pueden adquirir mayor viscosidad (EssentialOleum, 2023)

Por lo tanto, las pruebas organolépticas son la primera línea de estándares de prueba para un aceite esencial ya que tanto expertos en el tema, como usuarios consumidores pueden detectar anomalías en un producto ya sea por uso frecuente y conocimiento de este, o por comparación con otra muestra de aceite (Doterra, 2023).

Para la caracterización cuantificable de aceites esenciales siempre es recomendable realizar una cromatografía, pues este análisis permite determinar todos los compuestos que este aceite posee de una manera muy específica. Algunos tipos de cromatografía más utilizados son de gases, HPLC, de masas, por ejemplo (EssentialOleum, 2023).

Por otro lado, en la caracterización fisicoquímica, algunos de los análisis más importantes para conocer la composición del aceite de cardamomo ya sea al inicio o al final de cualquier análisis a realizar son:

- Determinación de índice de refracción
- Determinación de índice de yodo
- Determinación de índice de peróxido
- Determinación de ácidos grasos libres

Según lo expuesto en el trabajo de (Villeda, y otros, 2017), de la caracterización de un aceite de cardamomo se obtienen valores como los mostrados en el Cuadro 2. Cabe mencionar que las características variarán desde el método de extracción del aceite hasta el país de origen de la semilla. Sin embargo, es una buena aproximación el analizar estos datos para la planta de cardamomo como tal.

En toda esta sección, se habló en general de la caracterización de los aceites esenciales, pero es pertinente recordar que, para intereses del presente trabajo, la caracterización a realizar será para aceite de cardamomo.

La caracterización del aceite en este trabajo se realizará antes y después del proceso de refinamiento de la misma manera, para determinar las diferencias entre el ingreso del aceite luego de la extracción, y luego como producto terminado, el cual se ofrece al consumidor.

Cuadro 2: Caracterización de aceite de cardamomo extraído por fluidos supercríticos con semillas del suroeste de Antioquía¹.

Característica	Valor
Ácidos grasos libres (mg KOH/g aceite)	21.31
Índice de refracción a 25°C	1.48
Índice de yodo (cg I ₂ /g)	102.92
Índice de peróxido (meq/kg)	11.28

(Villeda M. , 2015)

¹ Los valores fueron tomados como referencia para hacer un estimado de la caracterización de aceite esencial de cardamomo. Sin embargo, la caracterización real del aceite puede variar considerablemente debido a factores como características de cultivo y crecimiento (clima, altitud, cosecha) y el método de extracción del aceite.

Por último, para la estandarización de aceites esenciales, existen instituciones que dan las directrices que se deben seguir para la creación de productos y servicios basados en el consenso de todas las partes relevantes de la industria. Estas normas garantizan que dichos productos y servicios tengan una calidad constante y sean comparables a otros productos y servicios de la misma industria. Normalizar productos también ayuda a asegurar la seguridad, compatibilidad e interoperabilidad de los bienes producidos (Ruiz, 2023).

Algunas de las instituciones dedicadas a la normalización de aceites esenciales son USP Standards, Farmacopea Europea, Normativa ISO, y algunas otras complementarias como el reglamento REACH o las normas IFRA (Ruiz, 2023).

2. Parámetros evaluados en la caracterización de aceites esenciales

La evaluación de la calidad de los aceites esenciales se realiza basándose en directrices estándar, la Farmacopea Europea y ciertas normas ISO². Según la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS, 2016), estos son algunos índices físicos y valores químicos utilizados para determinar la calidad de un aceite esencial:

- a. Índice de acidez: Es un indicativo de la calidad de un aceite o grasa, pudiendo relacionarse tanto con la materia prima, como con el procesamiento de éstas. A medida que el índice de acidez (o % acidez, llamado en este trabajo) aumenta, significa que la cantidad de ácidos grasos libres incrementa, aumentando consecuentemente la acidez del material, lo cual tiene indica un detrimento de su calidad (Manrique, 2015).
- b. Índice de yodo: Es un parámetro utilizado para determinar las características de un aceite de origen animal o vegetal. Es un número que hace alusión al número de insaturaciones presentes en los ácidos grasos y se utiliza para mostrar la pureza y calidad de éstos. Cuanto mayor es el índice de yodo que reacciona con la grasa, mayor será la presencia de dobles enlaces en la muestra (FoodLab, 2023).
Este índice está relacionado con el índice de refracción y la densidad. A mayor índice de yodo, mayor índice de refracción y mayor densidad. Está relacionado con la oxidación de los aceites esenciales, ya que los ácidos grasos con dos o tres dobles

² Las ISO responsables de los aceites esenciales son las ISO/TR 210: Reglas generales de embalaje, acondicionamiento y almacenamiento, ISO/TR 211: Normas generales para el etiquetado y marcado de los contenedores, ISO 212: Muestreo, ISO 280: Determinación de índice de refracción, ISO 592: Determinación de rotación óptica, ISO 875: Evaluación de la miscibilidad en etanol.

enlaces son más sensibles a oxidarse. Según el valor del índice, pueden ser ácidos oleicos (90), linoleicos (180) y linolénicos (274) (Mima, 2023).

- c. Índice de peróxidos: Este índice mide el estado de oxidación inicial de un aceite. Se mide por miliequivalentes de oxígeno activo por kg de aceite. Los peróxidos se originan si las materias primas se maltratan o se exponen a factores que influyen en el deterioro, como la luz o el calor. Mientras más alto sea el índice de peróxidos, significa que mayor es la oxidación del aceite (Hanna Instruments, 2023).
- d. Índice de refracción: Es utilizado comúnmente para determinar la identidad de alguna muestra de aceite desconocida. Siendo el índice de refracción una medida de cómo el aceite analizado desvía la luz, cada aceite esencial tiene rango de índice de refracción por el cual identificarse, los cuales se miden a una temperatura en específico (Mettler Toledo, 2023).

El aceite de cardamomo tiene un índice de refracción conocido de 1.48 (Villeda M., 2015).

D. NORMATIVAS DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD

1. Gestión de calidad

Existen siete principios de gestión de calidad, los cuales son los pilares de las ISO 9000, estos son:

- a. Enfoque al cliente: Este principio se fundamenta sobre la base de que el cliente representa la subsistencia de la compañía. Todos los esfuerzos que se hagan deben ir enfocados a exceder las expectativas de los clientes, así como alcanzar la satisfacción de ellos en función de requisitos preestablecidos (EEE, 2023), los cuales dictan el estándar de calidad a manejar. Es importante tener en cuenta que algunas veces, la gestión de la calidad implica adelantarse a las necesidades futuras del cliente, para estar siempre a la vanguardia de la industria en la que se trabaja (EEE, 2023).
- b. Liderazgo: Los objetivos serán alcanzables solo si toda la compañía se mueve en la misma dirección a la vez, guiados por aquella figura que velará porque haya unidad y objetivos alcanzables. Este líder debe ser capaz de crear un Sistema de Gestión de Calidad (SGC)³ implementado, mantenido, evaluado, auditado y mejorado para poder mantenerse en el tiempo y generar beneficios rentables a la organización. Un buen líder debe velar porque el enfoque en la mejora continua permanezca fuerte con el paso del tiempo, ya que muchas veces, por la necesidad de obtener una certificación o la cuenta de un cliente, toda la compañía hace esfuerzos sobrehumanos por cumplir con requisitos y ser proactivos, sin embargo, ese ímpetu se pierde con el paso del tiempo y la gestión de la calidad se desvanece. Por ello, esta persona debe enseñar con el ejemplo y luchar porque todos los colaboradores a todos los niveles entiendan la importancia de la mejora continua (EEE, 2023).
- c. Compromiso de las personas: Todos los colaboradores de una empresa, no importando el nivel, deben estar comprometidos con la causa, conocerla y velar por su cumplimiento siempre. El éxito de una empresa está directamente relacionado con la labor que sus colaboradores desempeñen en el día a día (EEE, 2023).
- d. Enfoque basado en procesos: Toda empresa está formada de procesos. Los procesos son los que hacen posible la elaboración de productos y/o servicios, los cuales llegan al cliente a satisfacer sus necesidades. Procesos individuales hacen que se forme un

³ Se utilizará la abreviatura SGC para referirse al SGC, ya que es un término ampliamente utilizado a lo largo de esta sección.

proceso productivo que de forma a una empresa. Los colaboradores de la empresa deben tener un total entendimiento de estos procesos, ya que, si se comprende el modo de realizarlos correctamente, será más fácil alinear estos procesos junto con los objetivos de la organización (EEE, 2023).

- e. Mejora: La mejora debe ser el objetivo de toda organización. Ésta siempre deberá estar enfocada al aumento de la satisfacción del cliente, ya que de esta forma se está mejorando la estabilidad y rentabilidad de la organización (EEE, 2023).
- f. Toma de decisiones basada en evidencia: En escenarios de cambio y mejora continua, siempre surgirán problemas y decisiones importantes que tomar para lidiar con ellos. Dependiendo del proceso o del ámbito del problema, algunos serán menos complejos que otros, pero siempre tendrán cierto grado de complejidad, debido a la tipología, validez, calidad o la fuente de donde provenga la información evaluada de cara a la toma de decisiones. Por ello, una buena gestión de calidad obliga a llevar a cabo cualquier proceso de manera ordenada y evidenciando cada paso de este, para tener respaldo confiable al momento de tomar decisiones (EEE, 2023).
- g. Gestión de las relaciones: Dentro de una organización y de un proceso productivo están interrelacionadas muchas personas y entidades. En una misma organización es vital la comunicación fluida y de calidad entre departamentos para luchar todos por los objetivos de la empresa, y en un proceso productivo, entiéndase en la cadena de suministros, unas organizaciones dependen de otras para poder satisfacer las necesidades del cliente. Esta interacción entre personas, departamentos y organizaciones permite una correcta y provechosa gestión de calidad. Sin ella, sería imposible (ISO, 2015).

2. ISO 9001:2015⁴

La Organización Internacional de Normalización o International Standard Organization en inglés es el ente encargado de normalizar procesos alrededor del mundo. Esta organización está compuesta por un comité técnico, en asociación con organizaciones internacionales, gubernamentales y no gubernamentales, los cuales trabajan en igualdad de condiciones para la preparación de normativas internacionales (ISO, 2015).

⁴ Toda esta sección referente a la ISO 9001:2015 se extrajo del documento “**Quality management systems – Requirements**”, el cual se encuentra debidamente citado en la bibliografía del presente trabajo. Se complementó con algunas otras referencias, sin embargo, el resto de la sección pertenece a este documento de la International Standard ISO 9001, 5ta edición.

Las normas ISO incluyen en conjunto más de 20,000 normas internacionales de diferente tipología y ámbito de aplicación (EEE, 2023), sin embargo, una de las más conocidas, y la que es de interés en el presente trabajo, son las ISO 9000, específicamente la 9001:2015. Estas normativas son destinadas a los sistemas de gestión de calidad en la industria, las cuales velan por mejorar el desempeño general y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible (ISO, 2015).

El subcomité TC 176/SC2 Sistemas de calidad es el encargado de especificar los requisitos concretos de la norma. Al obtener esta certificación, es posible demostrar la conformidad de la organización con la gestión de calidad. De este modo, se proporcionará confianza y seguridad a clientes como a potenciales clientes, ya que se está asegurando que la calidad del producto a ofrecer conserva estándares internacionalmente aprobados por la ISO (EEE, 2023).

La acreditación implica que la organización interesada en certificarse en la ISO 9001 se someterá a auditorías periódicas para asegurar que se están cumpliendo con los requisitos para conservar la certificación. En estas auditorías se busca que la organización cumpla con ciertos principios, tales como integridad, rigor, imparcialidad, competencia y capacitación. Estos principios son mostrados en la ISO/IES 17021:2015 Evaluación de conformidad. Lo complementa la ISO/IEC 17021-3, que es donde se recopilan las competencias que deben contar los auditores de un SGC (EEE, 2023).

a. Introducción a la ISO 9001:2015

La adopción e implementación de un SGC es una medida que decide tomar una organización para mejorar su desempeño general y proporcionar una base sólida para iniciativas de desarrollo sostenible (ISO, 2015).

Los beneficios potenciales de una organización al implementar un SGC basado en esta norma internacional son:

- i. Capacidad de proporcionar de manera consistente productos y servicios que cumplan con los requerimientos del cliente, además del cumplimiento de requisitos legales y operativos.
- ii. Facilitar oportunidades para mejorar la satisfacción del cliente.
- iii. Abordar riesgos y oportunidades asociados a su contexto y objetivos.
- iv. Capacidad de demostrar la conformidad con los requisitos especificados del SGC.

Es importante mencionar que el objetivo de esta norma no es:

- i. Crear uniformidad en la estructura de diferentes sistemas de gestión de calidad.
- ii. Alineación de la documentación con la estructura de cláusulas de la norma.
- iii. El uso de la terminología específica de esta norma dentro de la organización.

Los requisitos del SGC especificados en esta norma internacional son complementarios para los productos y servicios.

La ISO 9001:2015 emplea el enfoque basado en procesos, que incorpora el ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA) (Planear-Hacer-Verificar-Actuar, en español, para futuras referencias) y el pensamiento basado en el riesgo:

- i. El enfoque basado en procesos permite a una organización planificar sus procesos e interacciones.
- ii. El ciclo PDCA permite a una organización garantizar que sus procesos cuenten con los recursos y la gestión adecuados, y que se determinen y se actúe sobre la oportunidad de mejora.
- iii. El pensamiento basado en riesgo permite a la organización determinar factores que pueden hacer que sus procesos y su SGC se desvíen de los resultados previstos. Además, permiten implementar controles preventivos para minimizar efectos negativos y aprovechar al máximo oportunidades.

Para dar cumplimiento a los requisitos establecidos en la guía de implementación, la organización puede verse en la necesidad de adoptar varias formas de mejora, además de la corrección y mejora continua, como el cambio radical, la innovación y la reorganización.

Enfoque basado en procesos

Esta norma promueve un enfoque basado en procesos al desarrollar, implementar y mejorar la efectividad de un SGC, para mejorar la satisfacción del cliente y cumplir los requisitos.

Comprender y gestionar los procesos interrelacionados como un sistema, contribuye a aumentar la eficacia y eficiencia de la organización para lograr los resultados previstos. Este enfoque permite controlar las interrelaciones e interdependencias de procesos en el sistema, de manera que se pueda mejorar el desempeño general de la organización.

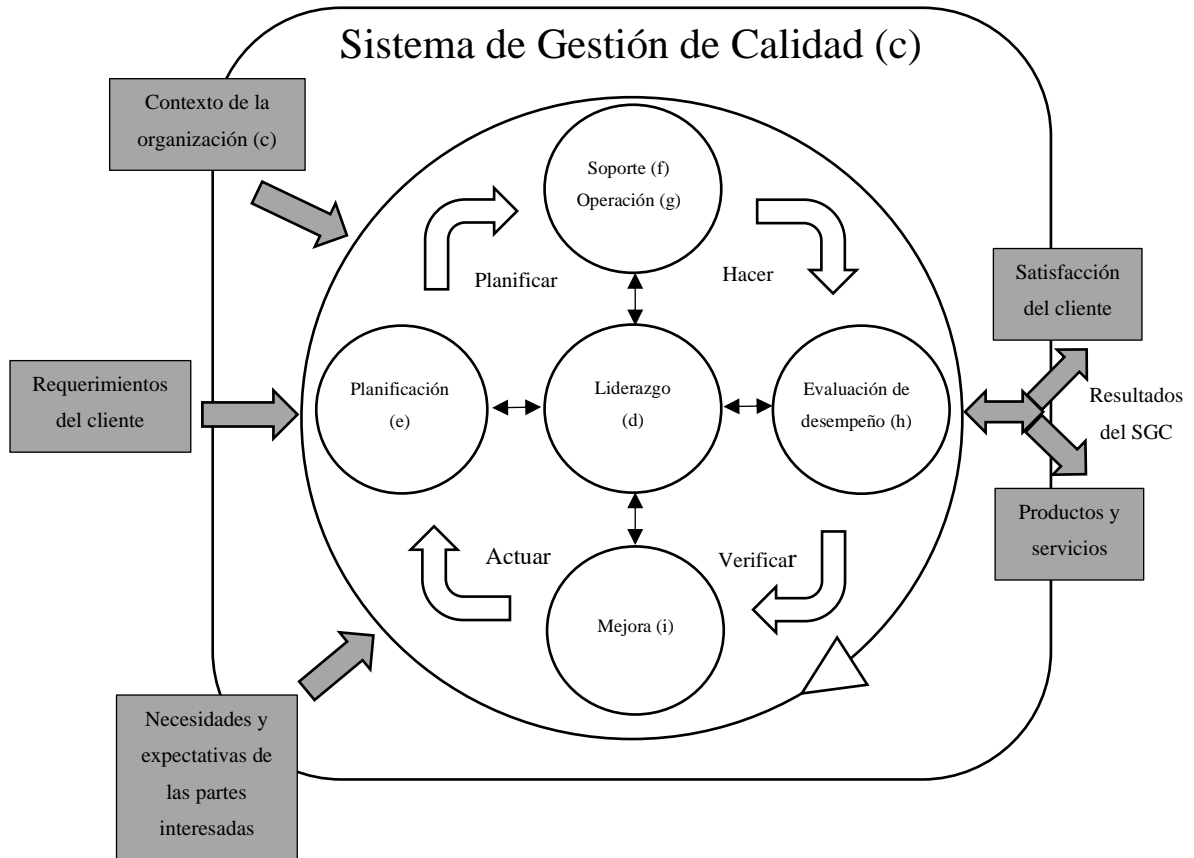
La aplicación del enfoque basado en procesos de un SGC permite:

- i. Comprensión y coherencia en el cumplimiento de requisitos.
- ii. Consideración de los procesos en términos del valor agregado.
- iii. Logro de un desempeño efectivo del proceso.
- iv. Mejora de procesos basada en evaluación de datos e información.

El ciclo PDCA

Esta herramienta puede ser aplicable a cualquier proceso y al SGC en conjunto. En la Figura 2 se muestra el diagrama del ciclo PDCA, donde las letras entre paréntesis significan cada una de las subsecciones posteriores de esta sección.

Figura 2: Diagrama del ciclo PDCA, tropicalizado a español



Fuente: (ISO, 2015)

El ciclo puede describirse de la siguiente manera:

- i. Planear: Establecer objetivos del sistema y sus procesos, y adquirir recursos necesarios para entregar resultados de acuerdo con los requisitos del cliente y las políticas de la organización, además, identificar y abordar riesgos y oportunidades.
- ii. Hacer: Implementar lo planificado.
- iii. Verificar: Monitorear y medir los procesos, productos y servicios resultantes contra políticas, objetivos, requisitos y actividades planificadas, e informar los resultados.
- iv. Actuar: Tomar acciones para mejorar el desempeño, según sea necesario.

Pensamiento basado en el riesgo

Para cumplir con los requisitos de la norma internacional, la organización necesita planificar e implementar acciones para abordar riesgos y oportunidades. Hacer esto establece una base para aumentar la eficiencia del SGC, lograr mejores resultados y prevenir efectos negativos.

Las oportunidades pueden surgir como resultado de una situación favorable para lograr un resultado previsto (actividades para atraer clientes, desarrollo de nuevos productos, reducir desperdicio, mejorar productividad). Incluso las acciones para abordar oportunidades traen consigo siempre un riesgo⁵ a considerar.

b. Alcance de la ISO 9001:2015

Los requisitos de esta norma son bastante genéricos, lo cual sirve para poder aplicarse en diferentes organizaciones y procesos, independientemente del producto que manufacturen, del servicio que den o del tamaño de la compañía. Es importante notar que en esta norma internacional los términos “producto” o “servicio” solamente se aplican a aquellos destinados a un cliente o requeridos por él (ISO, 2015).

Cuando las organizaciones obtienen esta certificación significa que están preparadas para demostrar su capacidad de proporcionar de manera consistente productos y servicios que satisfagan al cliente y los requisitos legales y reglamentos aplicables, además tienen como objetivo mejorar la satisfacción del cliente aplicando efectivamente un sistema de mejora continua que garantice la conformidad del cliente siempre (ISO, 2015).

c. Contexto de la organización para aplicación de la ISO 9001:2015

Entendiendo a la organización y su contexto

Esta sección es destinada para lo que, por parte de la organización que busca la certificación, se debe analizar, monitorear y cambiar. Las diferentes subsecciones del capítulo detallan cada aspecto de este análisis a realizar:

- i. Entender a la organización y su contexto
La propia organización debe determinar los problemas que le impiden avanzar hacia el propósito establecido, y que afecten su capacidad para generar productos y servicios acordes al SGC que se quiere lograr (ISO, 2015).
- ii. Comprender las necesidades y expectativas de las partes interesadas (clientes)

⁵ El riesgo es efecto de la incertidumbre, la cual puede tener efectos positivos o negativos. Una desviación positiva que surge de un riesgo puede generar una oportunidad, pero no todos los efectos positivos del riesgo resultan en oportunidades.

Como se mencionó anteriormente, la organización debe estar enfocada a satisfacer las necesidades de sus clientes en un SGC funcional, por lo que es necesario que estas necesidades se establezcan claramente, que requisitos se deben cumplir y que cosas se deben cambiar o eliminar (ISO, 2015).

iii. Determinación del alcance del SGC.

Acorde a lo establecido en los puntos a y b precedentes, el alcance del SGC debe ser delimitado con mucho cuidado por la organización, ya que, para optar a la certificación, se deben cumplir a cabalidad todos los requisitos de la norma si éstos son aplicables dentro del alcance establecido (ISO, 2015).

El alcance del sistema de gestión debe tener información documentada en todo momento para poder ser validado constantemente. Debe indicar los tipos de servicios y productos cubiertos y justificar cualquier requisito de la norma que la organización considere que no es aplicable dentro de su alcance (ISO, 2015).

La conformidad de esta norma solo puede asegurarse si los requisitos determinados no aplicables no afectan la capacidad o responsabilidad de la organización de asegurar la conformidad de sus productos y la satisfacción de sus clientes (ISO, 2015).

iv. SGC y sus procesos

La organización debe establecer, implementar, mantener y mejorar constantemente su SGC, incluidos sus procesos necesarios e interacciones, de acuerdo con la presente norma.

Respecto a los procesos que realice, la organización debe:

- Determinar entradas requeridas y salidas esperadas de procesos.
- Determinar secuencia e interacción de procesos.
- Determinar y aplicar criterios y métodos (seguimiento, medición e KPI's) para el seguimiento y control de los procesos.
- Determinar recursos necesarios y asegurar disponibilidad.
- Asignar responsabilidades y autoridades para procesos.
- Abordar riesgos y oportunidades (según lo acordado en la sección e).
- Evaluar y cambiar procesos para asegurar los resultados esperados.
- Mejora continua de procesos y SGC.

Es importante recordar que la información debe estar documentada siempre como respaldo para apoyar la operación de sus procesos y demostrar que se están llevando a cabo según lo planificado (ISO, 2015).

d. Liderazgo

Liderazgo y compromiso

La alta dirección de la organización deberá mostrar compromiso y perseverancia para hacer cumplir la política de gestión de calidad establecida. Su ejemplo en las situaciones a continuación es determinante para que el sistema de gestión prevalezca, y la normativa se pueda cumplir y mantener en el tiempo de operación de la organización:

- i. Asumir responsabilidad por la eficacia del SGC.
- ii. Asegurar que la política de gestión de calidad y los objetivos de calidad se establezcan acorde al contexto de la organización y su dirección estratégica.
- iii. Asegurar la integración de los requisitos del SGC en la organización.
- iv. Promover el uso del enfoque basado en procesos y el pensamiento basado en riesgos.
- v. Asegurar que los recursos necesarios para el cumplimiento del sistema de gestión estén siempre disponibles.
- vi. Recordar constantemente a través de material informativo y charlas sobre la importancia del SGC en la organización.
- vii. Garantizar que el SGC esté generando los resultados previstos.
- viii. Contratar, dirigir y apoyar a personal que ayude a cumplir con los requisitos del SGC.
- ix. Promover mejora constante.
- x. Mostrar liderazgo a través del apoyo a otros roles gerenciales relevantes para demostrar su apoyo en lo que se refiere a áreas de responsabilidad.

Además, se debe prestar especial cuidado al enfoque al cliente, asegurándose que:

- i. El cliente y los requisitos legales y reglamentarios aplicables sean claramente determinados, entendidos y aplicados constantemente.
- ii. Se determinan y trabajan los riesgos y oportunidades que puedan afectar la conformidad de los productos y servicios y la capacidad de mejorar la capacidad de satisfacción del cliente.
- iii. Se mantenga la continua mejora de satisfacción del cliente.

Política

Por otro lado, se debe crear la política de gestión de calidad, en la cual la alta dirección debe establecer, implementar y mantener una política que:

- i. Sea apropiada para el propósito y contexto de la organización en cuestión, buscando que siempre vaya en su dirección estratégica de operación.
- ii. Proporcione un marco de cumplimiento de sus objetivos de calidad.
- iii. Incluya compromisos para satisfacer los requisitos aplicables.
- iv. Incluya un compromiso de mejora continua del SGC.

Todos estos requisitos deben estar disponibles siempre y con información documentada y ser entendidos y aplicados por todos los miembros de la organización.

Roles organizacionales, responsabilidades y autoridades

Por último, los roles y responsabilidades dentro del sistema de gestión deben estar claramente definidos por la alta dirección, y estos deben asegurarse que todas las personas dentro de él se comuniquen, entiendan y trabajen en la misma dirección de cumplimiento de objetivos de la organización. Específicamente, la alta dirección debe:

- i. Asegurar que las personas responsables de cada área del sistema de gestión cumplan su función de tal manera que se cumplan los requisitos del estándar internacional.
- ii. Asegurar que los responsables de los procesos entreguen los resultados esperados.
- iii. Asegurar que los responsables de los procesos informen constantemente del desempeño del SGC y sobre oportunidades de mejora a la alta dirección.
- iv. Que los responsables promuevan a las personas a su cargo y que ellos mismos trabajen de acorde con el enfoque en el cliente siempre.
- v. Asegurar que la integridad del SGC se mantenga cuando se planifiquen y implementen cambios a éste.

e. Planificación

Acciones para abordar riesgos y oportunidades

En la planificación del sistema de gestión, se debe tomar en cuenta todas aquellas acciones que permitan abordar tanto riesgos como oportunidades. Para ello, se deben tomar en cuenta aspectos determinados en la sección b: Contexto de la organización, tales como requisitos necesarios para el cumplimiento de la norma.

La determinación de riesgos y oportunidades es una actividad clave que permite dar seguridad de que el SGC genere los resultados previstos, mejore los efectos deseables, prevenga o reduzca los efectos no deseados y permita lograr una mejora constante.

Las acciones recomendadas para dicha determinación son:

- i. Integrar e implementar las acciones en los procesos del SGC, como se describieron en el inciso iv de la sección **“SGC y sus procesos”**.
- ii. Crear un sistema de evaluación de dichas acciones.

Las medidas adoptadas deberán crearse con base en el impacto potencial sobre la conformidad de los productos y servicios.

Objetivos de la calidad y planificación para alcanzarlos

Por otro lado, la organización deberá establecer objetivos de calidad, y crear una planificación para poder alcanzarlos. Estos objetivos deben ser creados con base en las funciones, niveles y procesos pertinentes necesarios para el SGC. Específicamente los objetivos deberán:

- i. Ser consistentes con la política de calidad
- ii. Ser medibles
- iii. Tener en cuenta los requisitos aplicables
- iv. Ser relevantes para los estándares de productos y servicios a generar y para mejorar la satisfacción del cliente
- v. Poder ser monitoreados
- vi. Poder ser comunicados con facilidad
- vii. Actualizarse según corresponda

Como se ha mencionado en secciones anteriores, los objetivos de calidad y sus respectivas mediciones, seguimientos y actualizaciones deberán contar con documentación de respaldo que permita constatar la validez de estos: su aplicación, medición y efectividad.

Para planificar los pasos para el cumplimiento de estos objetivos se recomienda:

- i. Determinar lo que se hará
- ii. Determinar que recursos se necesitarán
- iii. Establecer a los responsables de su cumplimiento
- iv. Determinar cuándo se completarán
- v. Establecer cómo se evaluarán.

Planificación de cambios

Por último, la actualización o modificación del SGC es posible, y los cambios deben llevarse a cabo de manera planificada. Para ello, la organización deberá considerar:

- i. El propósito de los cambios y sus posibles consecuencias
- ii. La integridad del SGC
- iii. La disponibilidad de recursos
- iv. La asignación o reasignación de responsabilidades y autorizadas involucradas en los cambios.

f. Soporte

Recursos

Se refiere como soporte a todos los recursos necesarios para dar cumplimiento al plan de gestión de calidad. La organización debe asegurarse de planificar la adquisición y gestión de los recursos necesarios para el establecimiento, implementación mantenimiento y mejora continua del plan de gestión de calidad. Se deben considerar las capacidades y limitaciones de los recursos internos existentes y lo que se necesita obtener de proveedores externos.

Como se mencionó anteriormente, la delegación de responsabilidades y obligaciones es otra clave en un sistema de gestión adecuado para el cumplimiento de objetivos de calidad y para la operación y control de sus procesos.

Otro aspecto de suma importancia es la infraestructura. En el proceso de instalación y cumplimiento del SGC el área que alberga los procesos debe ser adecuada para lograr la conformidad de los productos y servicios. A infraestructura se refiere: edificios y servicios públicos asociados, equipo (hardware y software), recursos de transporte y tecnología de la información y comunicación.

De la infraestructura, va ligado el tema del entorno (social, psicológico, físico), el cual debe ser propicio para la conformidad de productos y servicios.

Para darle seguimiento y medición a los recursos, la organización debe determinar y proporcionar estos recursos, de manera que éstos sean adecuados para el tipo específico de actividades de seguimiento y medición y que aseguren la idoneidad continua para su propósito. Cabe mencionar, que todo este seguimiento y medición debe estar apropiadamente documentado para respaldo de la organización ante auditorías y control de los requisitos del SGC.

Un aspecto muy importante en los sistemas de gestión de calidad es la trazabilidad de las mediciones de recursos. Cuando la trazabilidad es un requisito, o ya sea que la organización la

considere indispensable para brindar confianza en la validez de los resultados de las mediciones, los equipos de medición deben ser:

- i. Calibrados y/o verificados, a intervalos específicos o antes de su uso, contra patrones de medición trazables a patrones de medición nacionales o internacionales. Cuando no exista esa información, la base utilizada para la calibración y/o verificación se conservará como información documentada.
- ii. Identificados para determinar su estado.
- iii. Protegidos de ajustes, daños o deterioro que interfiera con la validez de la calibración y los resultados de las mediciones posteriores.

La organización es responsable de determinar si la validez de las mediciones obtenidas se ha visto afectada negativamente cuando se descubre que un equipo ha sido calibrado erróneamente o ya no es apto para cumplir su propósito, y, por lo tanto, debe tomar medidas apropiadas según sea necesario.

A lo largo de la vida operativa de una organización, ésta irá adquiriendo experiencia y conocimiento sobre el sector productivo en el cual se desempeña. A esto se le llama conocimiento organizacional⁶. Dicho conocimiento debe gestionarse de tal manera que pueda ser utilizado por todos los miembros que la conforman para su provecho y así poder lograr conformidad de productos y servicios y cumplir con los objetivos de la organización.

Competencia

La organización deberá evaluar el nivel de competencia que requiere en sus trabajadores y que ésta no afecte al SGC, sino que, al contrario, ayude a mejorarlo. Además, debe asegurarse que las personas sean competentes sobre una base de educación, formación o experiencia para las labores que desempeñarán.

Cuando aplique, la organización deberá tomar acciones para que el personal adquiera las competencias necesarias, posteriormente, evaluar la efectividad de las acciones tomadas⁷. Hay que recordar que siempre se debe conservar información documentada de los procesos.

⁶ El conocimiento organizacional se puede adquirir de diferentes formas: Por ejemplo, de fuentes internas como propiedad intelectual, experiencia, lecciones aprendidas de proyectos fallidos y exitosos, resultados de mejoras implementadas, y de fuentes externas como estándares, conferencias, conocimiento de clientes y proveedores.

⁷ Las acciones tomadas suelen incluir capacitación constante, tutoría o reasignación de puestos existentes, o la contratación de personas competentes.

Conciencia

En la organización debe crearse conciencia de la labor que se está desempeñando. Los trabajadores que laboren en ella deben ser conscientes de:

- i. La política de calidad.
- ii. Los objetivos de calidad relevantes.
- iii. Su contribución a la eficiencia del sistema de gestión, incluyendo los beneficios del desempeño mejorado.
- iv. Las implicaciones de no cumplir con los requisitos del SGC.

Comunicación

Respecto a la comunicación, la organización debe determinar las comunicaciones internas y externas relevantes para el SGC, las cuales incluyen:

- i. Lo que comunicarán
- ii. Cuando comunicarlo
- iii. Con quién comunicarse
- iv. Cómo comunicarse
- v. Quien comunicará cada cosa

Información documentada

Por último, todo lo descrito anteriormente debe tener la información debidamente documentada, lo cual incluye:

- i. Información requerida por la Norma Internacional
- ii. Información determinada como relevante por la organización para el cumplimiento del SGC ⁸.

Al crear y actualizar la información, la organización debe tomar en cuenta:

- i. Identificación y descripción (título, autor, fecha, etc)
- ii. Formato (versión de software, idioma) y soporte.
- iii. Revisión y aprobación de la idoneidad y adecuación.

Dicha información debe estar controlada, esto quiere decir que debe estar disponible y en un formato adecuado para su uso, donde y cuando se necesite, además de estar adecuadamente

⁸ La información referida en este punto puede ser variable de una organización a otra. Esto depende del tamaño de la organización, tipo de actividades, procesos, productos y servicios, la complejidad de los mismos y la competencia de las personas involucradas.

protegida (con base en criterios de confidencialidad de la organización). Para esto, la organización debe realizar las siguientes actividades, según corresponda:

- i. Distribución, acceso, recuperación y uso.
- ii. Almacenamiento y conservación, incluida la conservación de la legibilidad.
- iii. Control de cambios (tener las versiones de los documentos claramente identificadas).
- iv. Retención ⁹ y disposición.

La información de origen externo que la organización crea oportuno clasificar como necesaria para la planificación y operación del SGC debe identificarse según corresponda y controlarse.

g. Operación

Planificación y control operativo

La organización debe planificar, implementar y controlar los procesos necesarios para cumplir con los estándares de calidad establecidos anteriormente en su SGC (Sección b). Para ello, la (ISO, 2015) recomienda:

- i. Determinar requisitos para productos y servicios.
- ii. Establecer criterios para procesos, productos y servicios.
- iii. Determinar los recursos necesarios para lograr conformidad con los requerimientos de productos y servicios.
- iv. Implementar controles de acuerdo con los criterios establecidos.
- v. Generar, mantener y retener información documentada para soportar los procesos y demostrar que dichos procesos generan productos y servicios acordes a los requisitos.

La organización debe controlar los cambios planificados y revisar las consecuencias de los cambios no deseados, tomando planes de acción para mitigar cualquier efecto adverso, según corresponda.

Requisitos para productos y servicios

Específicamente relacionado a la elaboración de productos y servicios, se recomienda:

- i. Comunicación con el cliente para tener retroalimentación de los productos y servicios.

⁹ La información documentada retenida como evidencia de conformidad deberá estar protegida de alteraciones no intencionadas.

- ii. Determinar requisitos para productos y servicios tomando en cuenta la parte legal y reglamentaria aplicable en su elaboración o gestión y que la organización los considere necesarios.
- iii. Planificar la revisión de requisitos para productos y servicios. Se debe asegurar que se tenga la capacidad de cumplir con los requisitos establecidos planificando una revisión antes de comprometerse a generar productos y servicios con determinadas características¹⁰.

La organización debe conservar la información documentada¹¹, según corresponda:

- i. Sobre los resultados de las revisiones.
- ii. Sobre cualquier requisito nuevo para productos o servicios.

Diseño y desarrollo de productos y servicios

El proceso de diseño y desarrollo de los productos y servicios que la organización ofrecerá deberán estar estandarizados para asegurar la posterior provisión de estos. La planificación de los procesos debe incluir etapas y controles, en los cuales la organización deberá considerar:

- i. La naturaleza, duración y complejidad de las actividades de diseño y desarrollo.
- ii. Las etapas requeridas del proceso, incluidas revisiones de diseño y desarrollo aplicables.
- iii. Las actividades requeridas de verificación y validación de diseño y desarrollo.
- iv. Las responsabilidades y autoridades involucradas en el proceso de diseño.
- v. Las necesidades de recursos internos y externos para el diseño de productos y servicios.
- vi. La necesidad de controlar las relaciones entre las personas involucradas en el desarrollo de productos y servicios.
- vii. La necesidad de involucrar a los clientes en el proceso de diseño y desarrollo.
- viii. Los requisitos para la posterior provisión de productos y servicios.
- ix. El nivel de control esperado para el proceso de diseño por parte de clientes y otras personas interesadas en el proceso.

¹⁰ Los requisitos del cliente deben ser confirmados por la organización antes de la aceptación, cuando el cliente no proporcione una declaración documentada de sus requisitos.

¹¹ La organización debe asegurarse que se modifique la información documentada pertinente y de que las personas involucradas en los cambios sean conscientes de ellos cuando se modifiquen los requisitos de productos y servicios.

- x. La información necesaria para demostrar que los requisitos de diseño de productos y servicios se ha cumplido.

Además, se deben determinar los requisitos¹² esenciales para los tipos específicos de productos y servicios que la organización va a producir o generar. Se deben considerar:

- i. Requisitos funcionales y de desempeño
- ii. Información derivada de actividades anteriores de diseño similares.
- iii. Requisitos legales y reglamentarios.
- iv. Estándares o códigos que la organización se ha comprometido a implementar.
- v. Posibles consecuencias de fallas previsible debido a la naturaleza del producto o servicio.

Por otro lado, los requisitos de control en el proceso de diseño de productos y servicios deben aplicarse para garantizar que:

- i. Se definan los objetivos a alcanzar.
- ii. Se realicen revisiones de la capacidad de los resultados obtenidos para satisfacer los requisitos de diseño de productos y servicios.
- iii. Se realicen actividades de verificación para asegurar que los resultados estén cumpliendo con los requisitos de entrada.
- iv. Se realicen actividades de validación para asegurar que los productos y servicios resultantes cumplen con los requisitos para su aplicación especificada o su uso previsto.
- v. Se tomen acciones necesarias sobre problemas determinados durante la revisión, verificación o validación de procesos, productos y servicios¹³.
- vi. Se conserve la información documentada de estas actividades.

Referente a los resultados de diseño del producto o servicio, la organización debe asegurarse que:

- i. Cumplan con los requisitos de entrada.
- ii. Sean adecuados para procesos posteriores de provisión de productos y servicios.
- iii. Incluyan referencias de control y medición, así como los criterios de aceptación.
- iv. Se especifiquen las características de productos y servicios que son esenciales para su finalidad prevista y su provisión segura y adecuada.

¹² Las entradas deben ser adecuadas para propósitos de diseño y desarrollo, completas e inequívocas.

¹³ Las revisiones, verificaciones y validaciones de diseño y desarrollo tienen propósitos distintos. Pueden realizarse por separado o en cualquier combinación, según convenga a la organización.

- v. Se tenga información documentada adecuadamente de todos los resultados obtenidos.

Por último, si se realizarán cambios en el diseño de productos y servicios, la organización debe asegurarse de identificar, revisar y controlar dichos cambios durante o después del diseño, para garantizar que no haya un impacto adverso en la conformidad de los requisitos.

La organización debe conservar información documentada sobre:

- i. Cambios de diseño y desarrollo.
- ii. Resultados de las revisiones.
- iii. Autorización de los cambios.
- iv. Acciones tomadas para prevenir impactos adversos.

Control de procesos, productos y servicios proporcionados externamente

La relación con agentes externos a la organización es un punto de importancia en el SGC. La organización debe controlar adecuadamente a los proveedores externos que tengan que ver con el proceso que genera el producto o servicio que llega al cliente. Deben asegurarse de que los productos, procesos y servicios proporcionados externamente cumplan con los requisitos internos cuando estos formarán parte del producto final, cuando un producto es tercerizado total o parcialmente en nombre de la organización (ISO, 2015).

Se deben establecer y aplicar criterios de evaluación, selección y seguimiento del desempeño y evaluación de los proveedores externos, en función de proporcionar productos o servicios de interés para la organización. Se debe conservar documentación de estas actividades evaluativas y cualquier información necesaria que surja de estos procesos de control (ISO, 2015).

En cuanto al tipo y alcance del control a estos terceros, la organización debe asegurarse de que los procesos, productos y servicios proporcionados externamente no afecten la generación de los procesos, productos y servicios generados internamente de manera consistente.

La organización deberá:

- i. Garantizar que los procesos proporcionados externamente estén bajo el control del SGC de la organización.
- ii. Determinar el alcance de los controles que aplicará al proveedor externo como los que pretende aplicar a la salida resultante.
- iii. Tomar en consideración el impacto potencial de los procesos, productos y servicios del proveedor externo en la capacidad de la organización de cumplir con los requisitos establecidos en su sistema de gestión (aplicables al cliente y requisitos legales).

- iv. Tomar en consideración la efectividad de los controles aplicados por el proveedor externo.
- v. Implementar actividades que permitan la verificar que los procesos, productos y servicios cumplen con los requisitos internos.

Por otro lado, la organización debe determinar, antes de llegar a un acuerdo con un proveedor externo, que información se le proporcionará. Por información se refiere a los requisitos para:

- i. Los procesos, productos y servicios a prestar
- ii. La aprobación de productos y servicios, de métodos, procesos y equipos a utilizar y la implementación de éstos.
- iii. Competencia de trabajadores, incluido cualquier requisito cualitativo del personal.
- iv. Las interacciones de los proveedores externos con la organización.
- v. El control y seguimiento que será aplicado a los proveedores por parte de la organización.
- vi. Las actividades de verificación o validación que la organización desee realizar en las instalaciones de los proveedores externos.

Producción y prestación de servicios

Todos los bienes y servicios que se produzcan en la organización deben generarse de manera controlada, bajo condiciones parametrizadas y estándares que permitan la reproducibilidad de productos y servicios de una misma forma, según requerimientos del cliente. Las condiciones controladas incluyen:

- i. La disponibilidad de información documentada sobre características de los productos a producir, servicios a prestar y actividades a realizar, y de los resultados a lograr.
- ii. La disponibilidad y uso de recursos de seguimiento y medición adecuados.
- iii. Implementación de actividades de monitoreo y medición en las etapas apropiadas para verificar que se hayan cumplido los criterios establecidos para el control de procesos o productos y los criterios de aceptación para productos y servicios.
- iv. El uso de infraestructura y ambiente adecuado para la operación de procesos.
- v. El nombramiento de personal competente, incluida cualquier calificación requerida.

- vi. Validación y revalidación periódica de la capacidad de lograr resultados previstos en los procesos de producción y prestación de servicios, cuando el resultado no pueda verificarse mediante seguimiento o medición posteriores.
- vii. Implementación de acciones para prevenir el error humano.
- viii. Implementación de actividades de liberación, entrega y posteriores.

La identificación y trazabilidad en la producción de bienes es fundamental para el correcto control de los procesos. La organización debe:

- i. Utilizar medios adecuados para identificar los resultados cuando sea necesario para garantizar la conformidad de los productos y servicios.
- ii. Identificar el estado de los productos con respecto a los requisitos de seguimiento y medición a lo largo de la producción y prestación de servicios.
- iii. Controlar la identificación única de las salidas cuando la trazabilidad es un requisito, y debe conservar la información documentada necesaria para la trazabilidad.

Cuando se tenga propiedad de clientes o proveedores externos, la organización debe tener cuidado de su uso mientras esté en control de ellos. Se debe identificar, verificar, proteger y salvaguardar la propiedad de los clientes o proveedores externos, proporcionada para su uso o incorporación en los productos y servicios.

Cuando la propiedad¹⁴ de estas personas se dañe o pierda, o se descubra que no es apta para su uso, la organización debe informar al propietario y conservar información documentada sobre lo ocurrido.

Al lo largo de la producción o prestación de un servicio, la organización debe preservar los resultados obtenidos en la medida necesaria para garantizar la conformidad con los requisitos. Respecto a las actividades posteriores a la entrega de productos y servicios, la organización deberá considerar:

- i. Requisitos legales y reglamentarios.
- ii. Las posibles consecuencias no deseadas asociadas a productos y servicios.
- iii. La naturaleza, uso y vida útil de sus productos y servicios.
- iv. Requisitos y comentarios del cliente.

¹⁴ Esto puede ser materiales, componentes, herramientas, equipos, instalaciones, propiedad intelectual y datos personales, por ejemplo.

Por último, como en otras secciones ya se ha mencionado, la organización debe controlar los cambios realizados para la producción o prestación del servicio en la medida necesaria para garantizar la conformidad continua de los requisitos.

Siempre se debe conservar información documentada que describa los resultados de las revisiones de cambios, la o las personas que autoricen los cambios y cualquier acción necesaria que surja de la revisión.

Lanzamiento de productos y servicios

Al momento de lanzar un producto o servicio al mercado, la organización debe tomar en cuenta implementar controles específicos donde crea pertinente, para asegurarse que se hayan cumplido los requisitos del producto o servicio.

La entrega de productos y servicios al cliente no procederá hasta que los arreglos planificados se hayan completado satisfactoriamente, a menos que una autoridad autorice su distribución. La organización debe conservar información documentada sobre la liberación de productos y servicios, la cual incluye:

- i. Evidencia de conformidad de criterios de aceptación
- ii. Rastreabilidad hasta las personas que autorizan la operación

Control de salidas no conformes

Habiendo implementado los controles necesarios para identificar productos o servicios con requisitos no cumplidos, se deben tomar medidas adecuadas para asegurarse de que estos productos o servicios no lleguen al consumidor, en función de la naturaleza de la inconformidad y su efecto sobre la conformidad de los productos y servicios. Esto también aplicará a productos y servicios no conformes luego de la entrega al consumidor, durante o después de la prestación de los servicios.

La organización debe tratar las salidas no conformes¹⁵ de la siguiente manera:

- i. Corrección
- ii. Segregación, contención, devolución o suspensión de la prestación de productos o servicios
- iii. Informar al cliente
- iv. Obtener autorización para la aceptación en concesión

La organización debe conservar información documentada que:

¹⁵ La conformidad de los requisitos se verificará cuando se corrijan las salidas no conformes.

- i. Describa la inconformidad
- ii. Describa las acciones tomadas
- iii. Describa las concesiones obtenidas
- iv. Identifique a la autoridad que decide la acción a tomar respecto a la inconformidad

h. Evaluación de desempeño

Seguimiento, medición, análisis y evaluación

Habiendo conocido los requisitos para la generación de productos y servicios, luego de ofrecerlos al mercado, la organización necesita dar seguimiento, medición, análisis y evaluación a la retroalimentación que está obteniendo de sus productos o servicios. Por ende, la organización deberá:

- i. Determinar lo que necesita ser monitoreado y medido
- ii. Los métodos de medición, seguimiento y análisis que garanticen resultados válidos
- iii. Cuando se realizarán los seguimientos y mediciones
- iv. Cuando se analizarán y evaluarán los resultados de los seguimientos y mediciones

La organización debe evaluar el desempeño y eficacia del SGC. Siempre se debe conservar información documentada apropiada como evidencia de los resultados.

La organización debe evaluar también las percepciones de los clientes sobre el grado en el que se han satisfecho sus necesidades y expectativas. Se debe determinar los procesos internos para obtener¹⁶, monitorear y revisar esta información.

Se deben implementar procesos y actividades para analizar y evaluar la información obtenida del seguimiento y medición. Los resultados de los análisis se utilizarán para evaluar¹⁷:

- i. Conformidad de productos y servicios
- ii. El grado de satisfacción del cliente
- iii. El desempeño y la eficacia del SGC
- iv. La efectividad de la implementación de planificación
- v. La efectividad de las acciones para abordar riesgos y oportunidades
- vi. El desempeño de proveedores externos

¹⁶ Ejemplos de este monitoreo pueden ser: encuestas a clientes, retroalimentación del cliente al momento de recibir el producto o servicio, realizar reuniones con clientes, análisis de mercado, etc.

¹⁷ Pueden incluir diversos métodos estadísticos.

vii. Necesidad de mejoras del SGC

La auditoría interna es una herramienta valiosa para generar información acerca del estado del SGC. Estas deben organizarse a intervalos planificados para ser provechosas. La información que las auditorías internas proporcionarán sobre el SGC será:

- i. Si se ajusta a los requisitos establecidos por la propia organización
- ii. Si cumple los requisitos de la Norma Internacional
- iii. Si funciona de manera efectiva y eficaz

Al organizar estas auditorías¹⁸, la organización deberá:

- i. Planificar, establecer, implementar y mantener uno o varios programas de auditoría, incluyendo la frecuencia, métodos, responsabilidades, requerimientos planeados y sus respectivos reportes, los cuales deberán tener en consideración la importancia de los procesos relevantes, cambios que afecten la organización y los resultados de auditorías previas.
- ii. Definir los criterios y el alcance de cada auditoría.
- iii. Seleccionar auditores y realizar auditorías para garantizar la imparcialidad y objetividad de éstas.
- iv. Asegurar que los resultados de cada auditoría se presenten a la gerencia que le concierne.
- v. Tomar y aplicar las acciones correctivas determinadas sin demora indebida.
- vi. Conservar información documentada como evidencia de la auditoría realizada y de los resultados obtenidos.

Revisión por la dirección

La alta dirección debe revisar, a intervalos planificados, el sistema de gestión para asegurar su idoneidad, eficacia y cercanía a la dirección estratégica de la organización.

La revisión de entradas de la dirección se llevará a cabo teniendo en cuenta lo siguiente:

- i. El estatus de las acciones implementadas por revisiones previas
- ii. Cambios en problemas internos y externos que son relevantes para el SGC
- iii. Información sobre el desempeño y efectividad del SGC, incluyendo:
 - Satisfacción del cliente y retroalimentación de partes interesadas
 - El progreso de cumplimiento de objetivos de calidad
 - El desempeño del proceso y conformidad de productos y servicios

¹⁸ La ISO 19011 es la encargada de dar directrices para auditorías de los sistemas de gestión.

- Las inconformidades y acciones correctivas
 - Resultados de monitoreo y medición
 - Resultados de auditorías
 - Desempeño de proveedores externos
- iv. La suficiencia de recursos
 - v. La efectividad de acciones tomadas para abordar riesgos y oportunidades
 - vi. Oportunidades de mejora

Por otro lado, la revisión de salidas de la dirección debe incluir decisiones y acciones relacionadas con:

- i. Oportunidades de mejora
- ii. Alguna necesidad de cambios en el SGC
- iii. Necesidades de recursos

Toda esta información debe estar documentada y guardada como evidencia de los resultados de las revisiones por la alta gerencia.

i. Mejora

La organización debe determinar y seleccionar oportunidades de mejora e implementar las acciones necesarias para cumplir con los requisitos del cliente y mejorar su satisfacción sobre los productos y servicios proporcionados. Estas actividades¹⁹ deben incluir:

- i. Mejorar los productos y servicios para que cumplan con los requisitos necesarios, así como abordar necesidades futuras y superar expectativas.
- ii. Corregir, prevenir o reducir los efectos no deseados.
- iii. Mejorar el rendimiento y eficacia del SGC.

Inconformidad y acción correctiva

La organización debe tener planes establecidos cuando ocurren inconformidades y surgen quejas. Estos son:

- i. Tomar acciones para controlar y corregir inconformidades y hacer frente a las consecuencias.
- ii. Evaluar la necesidad de acción para eliminar las causas de la inconformidad para reducir su ocurrencia en el mismo o en otro lugar mediante revisión y

¹⁹ Las actividades de mejora pueden incluir un reordenamiento de procesos, estrategias de mejora continua, acciones correctivas, cambio radical e innovación.

análisis, determinación de causas y evaluación de otras inconformidades potenciales.

- iii. Implementar cualquier acción necesaria
- iv. Revisar la efectividad de las acciones correctivas implementadas
- v. Actualizar los riesgos y oportunidades determinados durante la planificación, si fuera necesario.
- vi. Realizar los cambios en el SGC, si fuera necesario

La organización debe conservar información documentada como evidencia de la naturaleza de las inconformidades encontradas y cualquier acción posterior tomada y de los resultados de cualquier acción correctiva.

Mejora continua

La organización debe tener presente que la idoneidad, adecuación y eficacia del SGC debe estar en constante mejora. Se deben considerar los resultados del análisis y evaluación servirán para determinar si existen necesidades u oportunidades para abordarse como plan de mejora continua.

E. ETAPAS DEL PROCESO

1. Refrigeración:

Consiste en la reducción y mantenimiento de la temperatura a un valor menor que la temperatura ambiente. Esto puede aplicarse en todo tipo de industrias, como en la de alimentos. En dicha industria tiene un propósito definido, que es conservar los alimentos mediante la congelación del agua dentro de ellos (Smith, Van Ness, & Abbott, 2007).

Sin embargo, el bajar la temperatura de los objetos tiene más usos. La temperatura es una variable que se relaciona con propiedades de la materia como la densidad, viscosidad, punto de ebullición y congelación (Smith, Van Ness, & Abbott, 2007). Particularmente, la densidad es una propiedad que posee una relación inversamente proporcional a la temperatura en algunos materiales.

Los aceites disminuyen su densidad al calentarse y la elevan al enfriarse, mientras que con el agua sucede lo mismo, pero de manera más sensible, por lo que no disminuyen o aumentan a la misma tasa de velocidad. Éstos tienen una densidad menor a la del agua, por lo que al reposar tienden a subir y flotar sobre el agua (AceiteDeLasValdesas, 2023).

Con la refrigeración, al disminuir la temperatura de una mezcla de aceite y agua, se forman las fases orgánica y acuosa, y existe un punto donde la diferencia entre estas es mayor. De esta forma, mediante decantación se logra una mejor separación. Además, en aceites esenciales las bajas temperaturas favorecen su conservación: 4-6°C es una temperatura apropiada para que un aceite pueda conservar sus propiedades, sin embargo, el inconveniente es que algunos aceites, como el de oliva, suelen cristalizarse a dichas temperaturas (Fundación Universidad-Empresa de las Islas Baleares MP, 2011).

2. Decantación:

Es una operación unitaria utilizada para la separación de dos líquidos con diferentes densidades, los cuales han reposado por un intervalo de tiempo a características definidas y se separaron en dos fases. Un decantador es un tanque con válvulas de evacuación en la parte inferior de su diseño, lo cual permite extraer la fase inferior (más densa) de la superior (menos densa) (SEMARNAP, 1995) y separándolas por la gravedad al ser extraídas fase por fase por la parte inferior del equipo. Para su diseño, se toma en cuenta la o las sustancias a separar, ya que esto influye el material, tamaño y forma del decantador. Estos tanques son muy utilizados para plantas de agua, decantación de aceites y miel. (Intranox, 2022)

3. Transferencia de masa: Dispersión de gas

El propósito de esta operación es permitir un contacto íntimo entre dos fluidos. Este es el caso en el que se considerará el caso de un líquido con un gas. Este contacto íntimo busca llevar a cabo la difusión interfacial de los componentes. La rapidez de transferencia de masa depende de la superficie interfacial expuesta de las fases, por lo que el método para poner en contacto las fases es de suma importancia (Treybal, 1988).

Los aparatos como tanques de burbujeo en los cuales la fase gaseosa se dispersa en burbujas o espuma. Estos tanques pueden contar con sistemas de agitación, sin embargo, es común calcular el burbujeo del sistema de tal manera que la corriente de aire sea lo suficientemente grande como para realizar la dispersión. Estas operaciones pueden ser batch, semi-batch o continuas, las cuales pueden trabajarse con un caudal grande de aire y un volumen grande de líquido (Treybal, 1988).

Un burbujeador es un dispositivo propio de un tanque de burbujeo que sirve para distribuir la corriente gaseosa dentro del líquido. La forma de los burbujeadores depende del diámetro del tanque, ya que, si éste es pequeño, el burbujeador será un tubo abierto, mientras que si supera los 0.3 m, se aconseja utilizar varios orificios para la generación de pequeñas burbujas que aseguren la correcta distribución del gas. Los orificios pueden ser de 1.5 a 3 mm de diámetro, hechos en una tubería colocada horizontalmente en el fondo del tanque. También son útiles platos porosos de cerámica, metal o plástico, sin embargo, estos suelen obstruirse con facilidad por la fineza de sus poros (Treybal, 1988).

F. DISEÑO DE UNA PLANTA EN INGENIERÍA

Antes de que un proceso que involucre ingeniería química pueda ser montado, debe ser recabada la suficiente información para sustentar cada cálculo y decisión que se tome a lo largo del proceso de diseño. Las bases de diseño son un conjunto de pasos que sirven para recabar dicha información y presentarla de una manera clara y concreta. Información como los requerimientos de productos a obtener (composiciones, cantidades, purezas, peligros relacionados, temperaturas y presiones), materias primas, datos relacionados con reacciones, seguridad y tratamiento de reactivos, es indispensable para el montaje de un proceso (Walas, 1990).

1. Servicios auxiliares

Tales como agua de proceso, agua de lavado, aire comprimido, vapor, energía eléctrica son servicios auxiliares que permiten llevar a cabo las operaciones que se realizan en un proceso químico. Estas permiten desempeñar todas las operaciones unitarias que pueden encontrarse en un proceso químico según sean sus requerimientos. Las corrientes de vapor pueden ser saturadas o sobrecalentadas y pueden servir para calentamiento sensible o de cambio de fase, e incluso hasta para generar energía eléctrica en turbogeneradores. Agua de enfriamiento también es utilizada para partes críticas de un proceso donde la temperatura es elevada. Todos estos servicios auxiliares generalmente se manejan en rangos dependiendo del proceso a efectuar (Walas, 1990).

2. Sistemas de control de proceso

En todo proceso, se tienen puntos de control críticos que tienen una alta relevancia en el resultado final del producto o servicio que se está generando. Variables como el tiempo, temperatura o pH, son comúnmente los PCC de los procesos en la industria, los cuales deben ser monitoreados estrechamente utilizando hojas de control, las cuales permiten anotar los datos de tal manera que puedan documentarse siempre y mostrar si efectivamente los parámetros de la operación se están llevando a cabo y, especialmente, si las variables de los puntos críticos son las esperadas para la producción de productos uniformes y consistentes en sus características finales.

En este caso en particular, se tienen como puntos de control críticos la temperatura, la toma de muestras, el agua remanente separada, pero sobre los ya mencionados, destaca el tiempo de aireado que se le dará al aceite para la oxidación de sus componentes. Este PCC es vital ya que se deben tener parámetros conocidos de tiempos los cuales determinan la correcta oxidación de la materia prima. Si este parámetro no se controla debidamente, las características del producto final serán variables y no se podrán cumplir con estándares de calidad requeridos.

G. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO Y TUBERÍAS

1. Refrigeradores

Para el dimensionamiento de un refrigerador, es necesario conocer la temperatura a la que el material que se va a refrigerar debe permanecer y en cuanto tiempo se necesita que esté a esa temperatura. Esto servirá para determinar la carga frigorífica que se debe extraer de los materiales a refrigerar.

En los casos que sea una sustancia pura, se puede determinar el calor a extraer con la Ecuación 1:

$$q \text{ (kJ)} = m_x C_{p_x} \Delta T$$

Ecuación 1: Carga frigorífica

Donde:

- m_A es la masa (en kg) del compuesto puro
- C_{p_A} es el calor específico (en kJ/kg*K) del compuesto puro
- ΔT es la diferencia de temperatura (en K) entre la temperatura inicial del material y la temperatura a la que se quiere refrigerar.

En el caso en el que el material es una mezcla, el cambio que debe hacerse es ponderar másicamente el C_p . Dicho cálculo está expresado en la Ecuación 2.

$$C_{p_{mx}} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} \right) = C_{p_{AC}} * x_{AC} + C_{p_{H2O}} * x_{H2O}$$

Ecuación 2: Ponderación del calor específico en una mezcla

Donde:

- C_p está en las unidades expresadas en la ecuación
- x_{AC} es una fracción másica expresada como kg/kg totales.

Calculando ya el calor a retirar (éste tiene que ser negativo ya que el diferencial de temperatura es inverso) se divide dentro del tiempo propuesto para el enfriamiento.

$$P \left(\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \text{ o } \text{kW} \right) = \frac{q}{t}$$

Ecuación 3: Potencia frigorífica

Al referirse a dimensionar un refrigerador, se está hablando de determinar justamente sus características de operación y tamaño para albergar el producto deseado. Como el elaborar un refrigerador es una tarea altamente compleja, al tener estas características, se consultan catálogos de proveedores para escoger qué equipo se adecúa a las características que se están buscando.

Se recomienda comprarlos de acero inoxidable 304 ya que, según la ANSI americana y europea, es el acero más resistente a daños físicos y del entorno (InventtoGroup, 2023).

2. Compresores

Los compresores, al igual que los ventiladores y sopladores, son máquinas destinadas para mover y comprimir gases, en donde el aire es comúnmente utilizado. A diferencia de los ventiladores y sopladores, los compresores tienen la capacidad de elevar la presión del gas que están trabajando desde 2 hasta varios miles de atmósferas (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

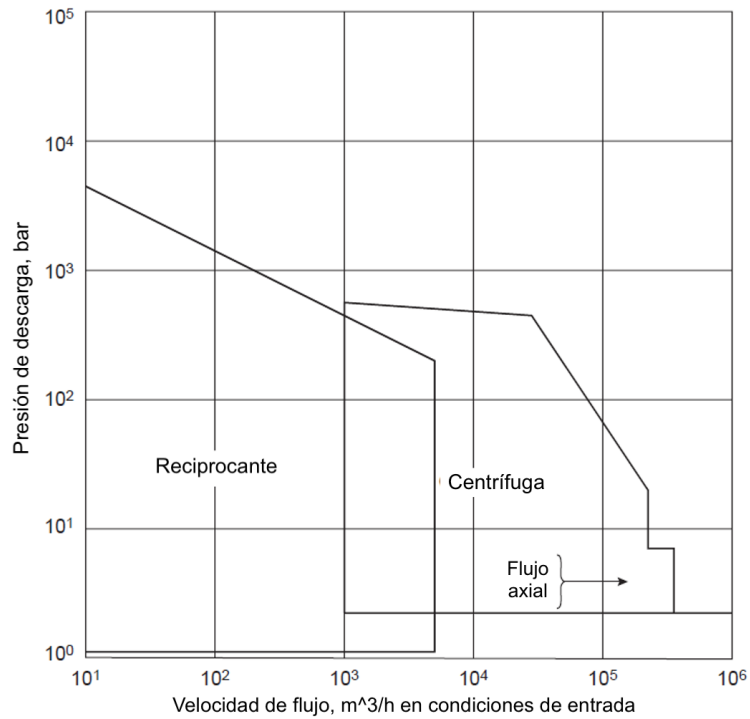
Las bombas son la contraparte de los compresores en cuanto a transporte de fluidos se refiere: las bombas son utilizadas para movilizar líquidos y los compresores para movilizar gases mediante compresión. En dicha compresión, al igual que en los sopladores, la densidad de los fluidos cambia drásticamente, por lo que hay que apoyarse en suposiciones y teoría para su dimensionamiento (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

El considerar utilizar un ventilador en lugar de un compresor implica que el diferencial de presión sea alrededor de 0.03 bar (3 kPa). Los compresores de flujo axial son utilizados comúnmente para caudales elevados y presiones diferenciales moderadas, mientras que los compresores centrífugos se utilizan para caudales altos y, por etapas, presiones diferenciales altas (Towler & Sinnott, 2008).

Los compresores recíprocos pueden ser utilizados en una amplia gama de aplicaciones, sin embargo, solamente se prefieren por delante de los centrífugos donde se requieren altas presiones y se tienen caudales bajos (Towler & Sinnott, 2008).

Para la selección del tipo de compresor adecuado, las Figuras 3 y 4 ilustran la familia de compresores respecto al caudal de entrada y el diferencial de presión. Por otro lado, en la Figura 5 se muestra un diagrama de los tipos de compresores existentes.

Figura 3: Rangos de operación de compresores



(Towler & Sinnott, 2008)

Figura 4: Rangos de operación de compresores y sopladores

Tipo de compresor	Velocidad máxima normal (rpm)	Capacidad máxima normal (m ³ /h)	Presión máxima normal (Diferencial)(bar)	
			Una etapa	Múltiples etapas
Desplazamiento				
1. Reciprocante	300	85,000	3.5	5000
2. Paleta deslizante	300	3400	3.5	8
3. Anillo líquido	200	2550	0.7	1.7
4. Raíz	250	4250	0.35	1.7
5. Tornillo	10,000	12,750	3.5	17
Dinámicos				
6. Ventilador centrífugo	1000	170,000		0.2
7. Turbosoplador	3000	8500	0.35	1.7
8. Compresor turbo	10,000	136,000	3.5	100
9. Ventilador de flujo axial	1000	170,000	0.35	2
10. Soplador de flujo axial	3000	170,000	3.5	10

(Towler & Sinnott, 2008)

Generalmente, los compresores se diseñan para que la presión aumente adiabáticamente, lo que quiere decir que la temperatura aumentará considerablemente. En estos equipos, la relación de compresión puede alcanzar valores de 10 o más, la temperatura es muy elevada. Es por ello, que en el diseño de estos equipos es común incluir chaquetas con agua fría o refrigerante. En compresores pequeños enfriados correctamente, la temperatura del fluido a la salida es muy cercana a la temperatura de entrada, por lo que se acerca a un comportamiento isotérmico. Esto es importante tomarlo en cuenta según el fluido que se vaya a comprimir, ya que a temperaturas elevadas algunos compuestos tienden a descomponerse (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Para calcular un compresor adiabático, el cual se asume que no necesita enfriamiento ya que el aumento de presión no es significativo para convertirse en calor, se usa la expresión:

$$P_B = \frac{0.371T_a q_0 \gamma}{(\gamma - 1)\eta} \left[\left(\frac{p_b}{p_a} \right)^{1 - \frac{1}{\gamma}} - 1 \right]$$

Ecuación 4: Potencia de un compresor adiabático ideal

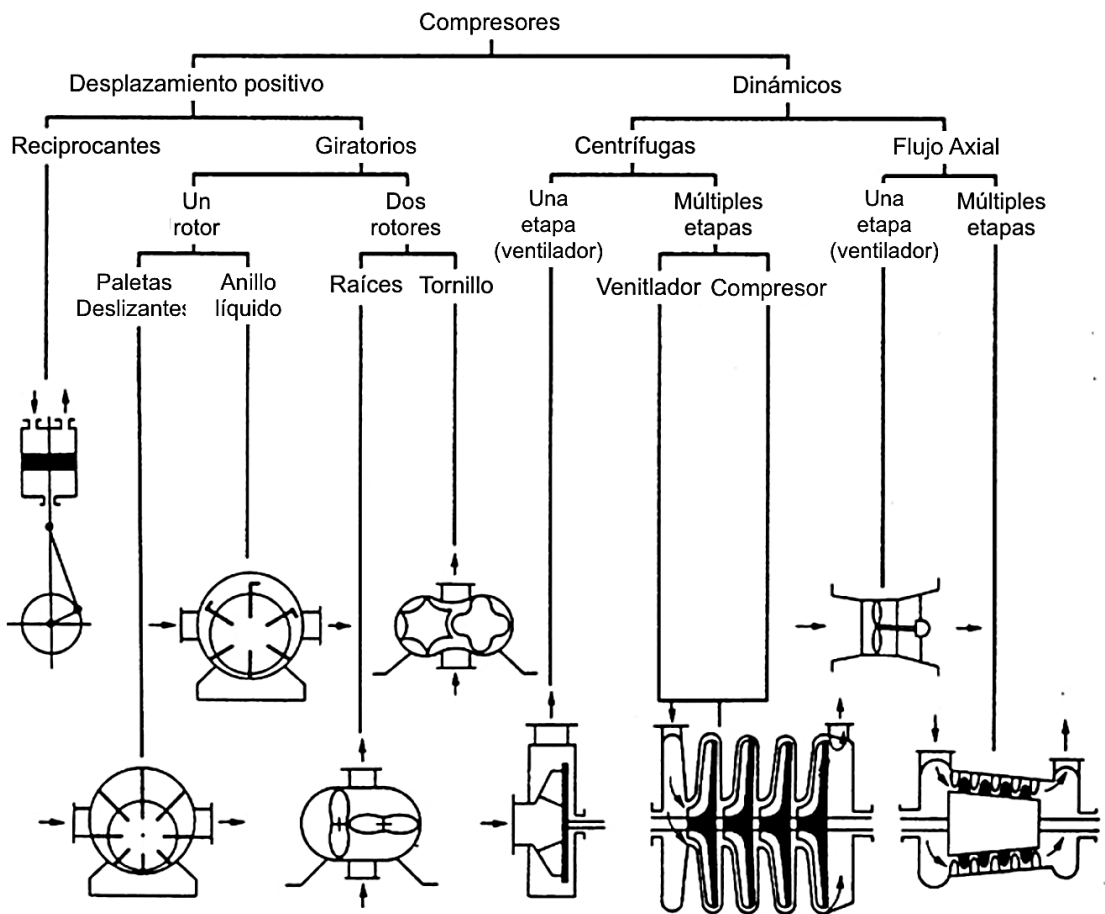
Donde:

- T_a es la temperatura de entrada (K)
- q_0 el volumen del gas comprimido (m^3/s) evaluado a $0^\circ C$ y 1 atm y η la eficiencia del compresor.

En este modelado, el fluido sigue una trayectoria isentrópica. Cabe resaltar que esta expresión está construida para gases ideales, por lo que el aire se toma como tal, siendo su $\gamma = 1.4$ (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Al realizar los cálculos, se hacen algunas suposiciones, y se toman valores dados por la literatura en los que los equipos a dimensionar comúnmente trabajan. Por ejemplo, la eficiencia de los compresores recíprocos es alrededor de 85%, mientras que las de los centrífugos llega hasta 90% (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Figura 5: Tipos de compresores



(Towler & Sinnott, 2008)

3. Decantadores o tanques

Los tanques en ingeniería química son divididos en dos tipos principalmente: Los que lo tienen partes internas y los que si tienen. Los primeros son llamados toneles o tanques, los cuales son de tamaño intermedio y sirven principalmente para almacenamiento y para alimentar un proceso de manera corta o prolongada y para separar fases mediante sedimentación u otros métodos, como diferencia de densidades. Por otro lado, los que tienen partes internas, como mezcladores, reactores, fraccionadores y otros equipos, pueden diseñarse casi independientemente de los elementos internos necesarios (Walas, 1990).

Un decantador es del tipo que no tiene partes internas. La diferencia entre tanques y toneles es el tamaño y no la forma como se pensaría. Usualmente son contenedores cilíndricos con fondo recto, redondo o cónico, ya que, dependiendo del propósito de éste, también pueden tener

disposición vertical u horizontal. Una *regla gruesa*²⁰ para tanques es que si es de un volumen menor a 1,000 gal (alrededor de 3800 L) la disposición del tanque puede ser vertical y sostenido con patas del mismo material del tanque, por lo cual no necesita ningún refuerzo de concreto o cemento (Walas, 1990).

Los tanques estándar se fabrican en tamaños pequeños con ciertas relaciones entre su diámetro y longitud. La Figura 6, extraída de (Walas, 1990), muestra algunas de estas relaciones, sin embargo, los libros de diseño como el citado anteriormente suelen utilizarse para grandes volúmenes de trabajo, por lo que las relaciones son muy grandes para el propósito del presente trabajo. Existe otra proporción conocida que indica que el largo de un tanque cilíndrico debe ser aproximadamente 2 veces su diámetro, por ende, es más fácil su cálculo para volúmenes pequeños.

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 h$$

Ecuación 5: Volumen de un cilindro

Siendo h la altura, y pudiendo expresarse cómo $h = 2d$, la expresión se simplifica cómo:

$$V = 2d * \frac{\pi}{4} d^2$$

Ecuación 6: Simplificación del volumen de un tanque

$$V = \frac{\pi}{2} d^3$$

Ecuación 7: Volumen de un tanque de proceso

4. Sistema de burbujeo

Como se mencionó en el capítulo anterior, el burbujeador es una parte fundamental en un sistema de transferencia de masa donde se busca la dispersión de una corriente gaseosa en un líquido.

Para ello, hay que tomar en cuenta el tamaño de las burbujas, las cuales dependen de la rapidez de flujo a través de los orificios del burbujeador, del diámetro del orificio, de las propiedades del fluido y de la turbulencia que prevalece en el líquido. La siguiente forma de calcular el sistema de burbujeo está diseñada para los casos en los que la turbulencia viene únicamente de la corriente gaseosa y en que los orificios son horizontales y están separados lo suficiente para no interferir con el burbujeo del orificio adyacente (aproximadamente $3d_p$, diámetros de burbuja) (Treybal, 1988).

²⁰ Las reglas gruesas son relaciones empíricas dadas en los libros de diseño en ingeniería que permiten hacer suposiciones basadas en el funcionamiento recurrente en la industria. Estas reglas gruesas fueron extraídas de (Walas, 1990).

Cuando los fluidos por los cuales se dispersará la fase gaseosa son viscosos (mayor a 1 kg/m*s o 1,000 cP), se utiliza la ecuación:

$$d_p = 2.312 \left(\frac{\mu_L Q_{Go}}{\rho_L g} \right)^{1/4}$$

Ecuación 8: Diámetro de agujero de un burbujeador

Donde_

- d_p es el diámetro de la burbuja, en m
- μ_L es la viscosidad del líquido
- Q_{Go} es el caudal de aire
- ρ_L es la densidad del líquido.

Conociendo el diámetro que cada burbuja deberá tener, es lógico suponer que de ese tamaño deben ser los agujeros del burbujeador. Ahora, si el volumen unitario de la mezcla líquido-gas contiene un volumen φ_G de gas, formado por n burbujas de diámetro d_p , n puede calcularse como:

$$n = \frac{\varphi_G}{\left(\frac{\pi d_p^3}{6} \right)}$$

Ecuación 9: Número de burbujas en el burbujeador

Por otro lado, el área necesaria para la transferencia de masa adecuada se calcula igualando la ecuación anterior con $n = a/\pi d_p^2$ para obtener:

$$a = \frac{6\varphi_G}{d_p}$$

Ecuación 10: Área para transferencia de masa en el burbujeador

Figura 6: Tabla de relaciones para tanques verticales, según estándares API

Dimensiones		Capacidad		Placas de carcasa (soldadas a tope)									
Diámetro	Altur	42 gal por bbl	U.S. gal	Placas Inferiores	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	Anillo 4	Anillo 5	Anillo 6	Anillo 7	Ángulo superior	Placas de Techo
21'0"	18'0 ^{3/4} "	1,114	46,788	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "					3" X 3" X $\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "
24'0"	24'0"	1,933	81,186	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "				3" X 3" X $\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "
30'0"	24'0"	3,024	127,008	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "				3" X 3" X $\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "
30'0"	29'11 ^{1/4} "	3,769	158,300	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "			3" X 3" X $\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "
30'0"	35'10 ^{1/2} "	4,510	189,420	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "		3" X 3" X $\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "
30'0"	37'10 ^{1/4} "	4,766	200,161	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "		3" X 3" X $\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "
30'0"	41'9 ^{3/4} "	5,264	221,088	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	3" X 3" X $\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "
40'0"	33'10 ^{3/4} "	7,586	318,612	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{16}$ "	3" X 3" X $\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "
50'0"	47'9"	16,700	701,400	$\frac{1}{4}$ "	0.35"	0.29"	0.25"	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "	3" X 3" X $\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "
60'0"	39'10"	20,054	842,268	$\frac{1}{4}$ "	0.34"	0.27"	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "		3" X 3" X $\frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{16}$ "
70'0"	40'1"	27,472	1.153.824	$\frac{1}{4}$ "	0.40"	0.32"	0.25"	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "		3" X 3" X $\frac{3}{8}$ "	$\frac{3}{16}$ "
100'0"	40'0"	55,960	2.350.320	$\frac{1}{4}$ "	0.57"	0.45"	0.33"	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "		3" X 3" X $\frac{5}{8}$ "	$\frac{3}{16}$ "
150'0"	48'0"	151,076	6.345.192	$\frac{1}{4}$ "	1.03"	0.85"	0.68"	0.50"	0.33"	$\frac{1}{4}$ "		3" X 3" X $\frac{3}{8}$ "	$\frac{3}{16}$ "

(Walas, 1990)

5. Bombas centrífugas

Existen dos tipos de bombas según (Walas, 1990): Las bombas centrífugas y el resto, las cuales comúnmente son de desplazamiento positivo. Las centrífugas son usadas ampliamente en muchas industrias, ya que permiten el bombeo de diferentes materiales. Éstas tienen partes rotativas que imparten alta velocidad inicial al fluido y una cabeza de presión alta al final.

Las principales variables involucradas cuando a bombas se refiere son:

- i. D , Diámetro (m)
- ii. H , Cabeza de descarga (m)
- iii. N , velocidad rotatoria (1/s)
- iv. \dot{P} , Potencia de descarga (kW o HP)
- v. Q , Tasa volumétrica de descarga (m^3/s)
- vi. μ , Viscosidad ($kg/m*s$ o cP)
- vii. ρ , Densidad (kg/m^3)
- viii. ε , Rugosidad de la superficie (m)

Cuando los sistemas de fluidos no son complejos, existen libros de diseño que toman datos generalizados los cuales está comprobado que funcionan en un amplio rango de características de un equipo, estas son llamadas comúnmente *Reglas gruesas*. (Walas, 1990) explica en su libro de diseño que para bombas que trabajarán con líquidos, un cálculo válido para la potencia de diseño de éstas puede ser:

$$P = \frac{\dot{V} \Delta p}{1714 \eta}$$

Ecuación 11: Potencia de una bomba centrífuga

Donde:

- P es en HP
- \dot{V} es el flujo volumétrico y está en gpm
- Δp es una diferencia de psig
- η es la eficiencia fraccional

Walas explica también que para bombas centrífugas de etapa simple en un rango de 15-5,000 gpm, con una cabeza máxima de 500 ft, la eficiencia puede tomarse 45% a 100 gpm. Como en el presente trabajo el caudal es menor al mencionado, es conveniente utilizar esa eficiencia.

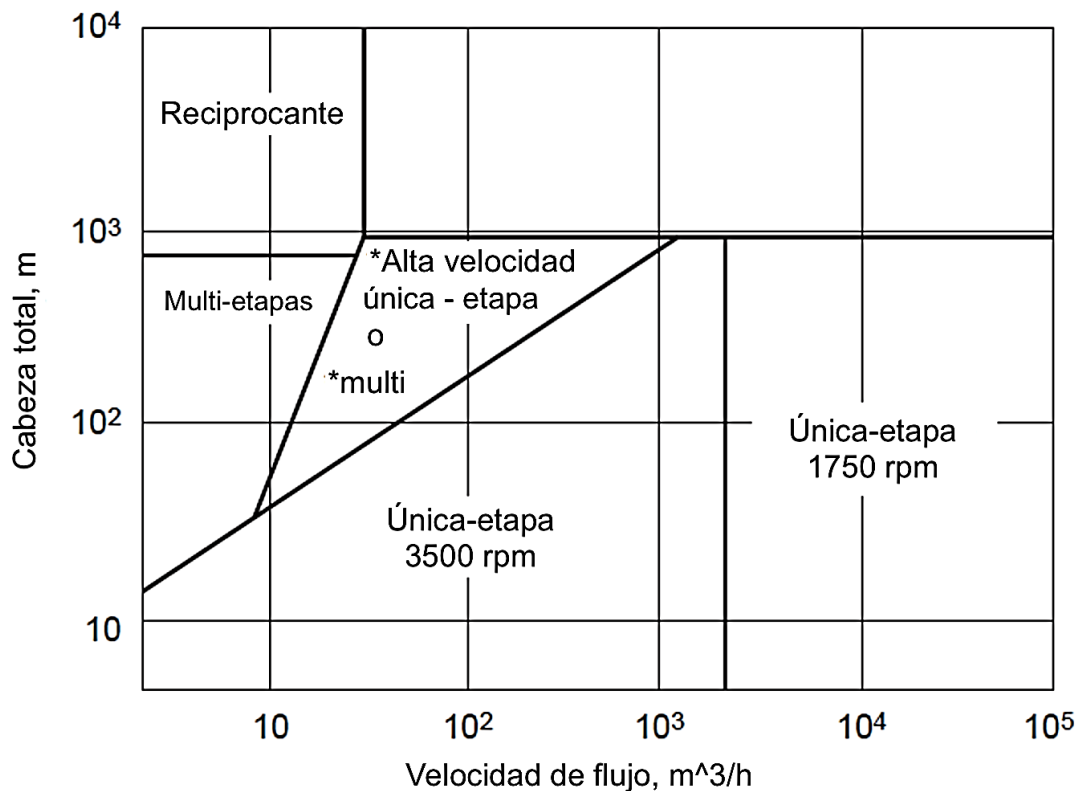
Por otro lado, (Towler & Sinnott, 2008) mencionan que la manera más apropiada de seleccionar una bomba es determinando el caudal y su cabeza total, junto con algunas otras

consideraciones tales como corrosión o la presencia de sólidos en el fluido. La Figura 7 permite determinar el tipo de bomba que mejor se ajusta al proceso a diseñar, respecto a estas dos variables anteriormente mencionadas.

La selección de la bomba no puede ir separada del diseño del sistema de flujo de fluidos general. La cabeza total requerida será la suma de la cabeza dinámica debida a las pérdidas por fricción en las tuberías, accesorios, válvulas, equipos de proceso y cualquier carga estática debido a las diferencias de presión (Towler & Sinnott, 2008).

Como guía aproximada, si no se indican en las especificaciones, a la válvula de control de la bomba se le debe asignar un 30% de caída de presión de la carga dinámica de todo el sistema con un valor mínimo de 50 kPa (7 psi). La válvula debe dimensionarse para un caudal máximo un 30% superior al caudal normal asignado (Towler & Sinnott, 2008).

Figura 7: Guía para la selección de bombas centrífugas. *Single-stage > 1750 rpm, multistage 1750 rpm.



(Towler & Sinnott, 2008)

Todos los accesorios y objetivos que interrumpan el flujo del fluido dentro de las tuberías causan una caída de presión. Uniones, válvulas, codos, secciones de expansión y contracción y juntas tipo T son algunos de los accesorios que causan un diferencial de presión

dentro de las tuberías. Estas pérdidas de presión se calculan de diferentes formas, una bastante común es la que se explica a continuación:

Método de pérdidas de cabezas de velocidad (K):

Una cabeza de velocidad es expresada como $u^2/2g$, expresada en metros de fluido, equivalente a la expresión $u^2/2\rho$, en N/m^2 . El número total de pérdidas por cabezas de velocidad debido a todos los accesorios en el sistema es sumado a la caída de presión por fricción en la tubería. Los valores de K de distintos accesorios están ilustrados en la Figura 8:

Figura 8: Pérdidas de presión en tuberías debido a accesorios y válvulas (para flujo turbulento)

Accesorios o válvula	k, número de cabezas de velocidad	Número de diámetros de tubo equivalente
45° codo estándar	0.35	15
45° codo de radio largo	0.2	10
90° codo de radio estándar	0.6 - 0.8	30-40
90° codo de radio largo	0.45	23
90° codo cuadrado	1.5	75
Entrada en T desde la tubería	1.2	60
Entrada en T a la tubería	1.8	90
Unión y acomplamiento	0.04	2
Reducción súbita (Salida del tanque)	0.5	25
Expansión súbita (Entrada del tanque)	1	50
Válvula de compuerta		
Completamente abierta	0.15	7.5
1/4 abierta	16	800
1/2 abierta	4	200
3/4 abierta	1	40
Válvula de globo, asiento cónico		
Completamente abierta	6	300
1/2 abierta	8.5	450
Válvula de globo, disco de tapón		
Completamente abierta	9	450
1/2 abierta	36	1800
1/4 abierta	112	5600
Válvula de tapón - abierta	0.4	18

(Towler & Sinnott, 2008)

6. Tuberías

Hoy en día, la manera más común de transportar fluidos es mediante tuberías utilizando equipos como bombas, sopladores, compresores o eyectores. Para ello, es necesario realizar un diseño correcto del diámetro, material y disposición de las tuberías de un sistema de fluidos (Walas, 1990). Las tuberías estándar tienen diferentes tamaños, los cuales están determinados por diámetros nominales en pulgadas. La Figura 9 muestra los diferentes tamaños nominales y las especificaciones de las tuberías estándar. Estas tuberías son identificadas por *números de cédula*, siendo la más común la cédula 40. El número de cédula significa 1000 P/S, donde P es la presión interna en psig, y S es trabajo permisible bajo estrés en psi (Walas, 1990).

Figura 9: Tamaños de tuberías estándar de acero según el ANSI

Tamaño nominal de tubería, in.	Diámetro exterior, in.	Número de cédula	Espesor de pared, in.	Diámetro interior, in.	Área de la sección transversal del metal, in. ²	Área de la sección interior, ft ²	Circunferencia, ft, o superficie, ft ² /ft de longitud		Capacidad para la velocidad de 1 ft/s		Peso de la tubería, lb/ft
							Exterior	Interior	U.S. gal/min	Agua, lb/h	
1/8	0.405	40	0.068	0.269	0.072	0.00040	0.106	0.0705	0.179	89.5	0.24
		80	0.095	0.215	0.093	0.00025	0.106	0.0563	0.113	56.5	0.31
1/4	0.540	40	0.088	0.364	0.125	0.00072	0.141	0.095	0.323	161.5	0.42
		80	0.119	0.302	0.157	0.00050	0.141	0.079	0.224	112.0	0.54
3/8	0.675	40	0.091	0.493	0.167	0.00133	0.177	0.129	0.596	298.0	0.57
		80	0.126	0.423	0.217	0.00098	0.177	0.111	0.440	220.0	0.74
1/2	0.840	40	0.109	0.622	0.250	0.00211	0.220	0.163	0.945	472.0	0.85
		80	0.147	0.546	0.320	0.00163	0.220	0.143	0.730	365.0	1.09
3/4	1.050	40	0.113	0.824	0.333	0.00371	0.275	0.216	1.665	832.5	1.13
		80	0.154	0.742	0.433	0.00300	0.275	0.194	1.345	672.5	1.47
1	1.315	40	0.133	1.049	0.494	0.00600	0.344	0.275	2.690	1345	1.68
		80	0.179	0.957	0.639	0.00499	0.344	0.250	2.240	1120	2.17
1 1/4	1.660	40	0.140	1.380	0.668	0.01040	0.435	0.361	4.57	2285	2.27
		80	0.191	1.278	0.881	0.00891	0.435	0.335	3.99	1995	3.00
1 1/2	1.900	40	0.145	1.610	0.800	0.01414	0.497	0.421	6.34	3170	2.72
		80	0.200	1.500	1.069	0.01225	0.497	0.393	5.49	2745	3.63
2	2.375	40	0.154	2.067	1.075	0.02330	0.622	0.541	10.45	5225	3.65
		80	0.218	1.939	1.477	0.02050	0.622	0.508	9.20	4600	5.02
2 1/2	2.875	40	0.203	2.469	1.704	0.03322	0.753	0.647	14.92	7460	5.79
		80	0.276	2.323	2.254	0.02942	0.753	0.608	13.20	6600	7.66
3	3.500	40	0.216	3.068	2.228	0.05130	0.916	0.803	23.00	11500	7.58
		80	0.300	2.900	3.016	0.04587	0.916	0.759	20.55	10275	10.25
3 1/2	4.000	40	0.226	3.548	2.680	0.06870	1.047	0.929	30.80	15400	9.11
		80	0.318	3.364	3.678	0.06170	1.047	0.881	27.70	13850	12.51
4	4.500	40	0.237	4.026	3.17	0.08840	1.178	1.054	39.6	19800	10.79
		80	0.337	3.826	4.41	0.07986	1.178	1.002	35.8	17900	14.98
5	5.563	40	0.258	5.047	4.30	0.1390	1.456	1.321	62.3	31150	14.62
		80	0.375	4.813	6.11	0.1263	1.456	1.260	57.7	28850	20.78
6	6.625	40	0.280	6.065	5.58	0.2006	1.734	1.588	90.0	45000	18.97
		80	0.432	5.761	8.40	0.1810	1.734	1.508	81.1	40550	28.57
8	8.625	40	0.322	7.981	8.396	0.3474	2.258	2.089	155.7	77850	28.55
		80	0.500	7.625	12.76	0.3171	2.258	1.996	142.3	71150	43.39
10	10.75	40	0.365	10.020	11.91	0.5475	2.814	2.620	246.0	123000	40.48
		80	0.594	9.562	18.95	0.4987	2.814	2.503	223.4	111700	64.40
12	12.75	40	0.406	11.938	15.74	0.7773	3.338	3.13	349.0	174500	53.56
		80	0.688	11.374	26.07	0.7056	3.338	2.98	316.7	158350	88.57

¹Basados en ANSI B36. 10-1959, con autorización de ASME.

(McCabe, Smith, & Harriot, 2007)

Los diámetros de las tuberías estándar suelen ser medidos en incrementos 1/16 o 1/8 in respecto a su diámetro externo. Las tuberías estándar suelen estar hechas de diferentes materiales, tales como metales, cerámica, vidrio y plástico (Walas, 1990)

Las tuberías estándar están medidas y bajo la aprobación del código B31.3 de la ANSI (American National Standards Institute), el cual es publicado por el ASME (American Society of Mechanical Engineers) (Walas, 1990).

El código anteriormente mencionado (B31.3) es el más utilizado para el diseño de plantas químicas y tuberías de refinerías de aceites. Este código aplica para tubería utilizada para químicos crudos, intermedios y productos terminados, productos de petróleo, gas, vapor, aire y agua, sólidos fluidizados, refrigerantes y fluidos criogénicos.

Para capacidades de transporte pequeñas y líneas cortas, la Figura 10 ilustra velocidades típicas de diferentes fluidos, valores que pueden utilizarse apropiadamente para el diseño de las tuberías correspondientes.

Figura 10: Velocidades típicas y caídas de presión en tuberías

	Velocidad m/s	ΔP kPa/m
Líquidos, bombados (no viscosos)	1 - 3	0.5
Líquidos, flujo por gravedad	-	0.05
Gases y vapor	15 - 30	0.02% de presión de línea
Vapor de alta presión, > 8 bar	30 - 60	-

(Towler & Sinnott, 2008)

Las velocidades lineales permiten determinar, con base en el caudal que se sabe que se transportará (respecto al balance de masa del proceso), el diámetro necesario para transportar el fluido. En la Figura 11 se muestran las distintas velocidades lineales en equipos de transporte de fluidos.

En el libro de Peters & Timmerhaus (1980), se describen dos *reglas gruesas* aplicables para diámetros óptimos de tuberías de acero de 1 in en adelante, para fluido laminar y turbulento:

$$D = 3.9Q^{0.45}\rho^{0.13}$$

Ecuación 12: Determinación de diámetro de tubería óptimo para fluidos con régimen turbulento

$$D = 3.0Q^{0.36}\mu^{0.18}$$

Ecuación 13: Determinación de diámetro de tubería óptimo para fluidos con régimen turbulento

Figura 11: Velocidades lineales de equipos- de transporte de fluidos, en ft/s.

Rehervidor, descendente (liquido)	3 - 7
Rehervidor, elevador (liquido y vapor)	35-45
Condensador aéreo	25-100
Flujo de dos fases	35-75
Compresor, succión	75-200
Compresor, descarga	100-250
Entrada, turbina de vapor	120-320
Entrada, turbina de gas	150-350
Válvula de alivio, descarga	$0.5V_c^a$
Válvula de alivio, punto de entrada en el silenciador	V_c

(Walas, 1990)

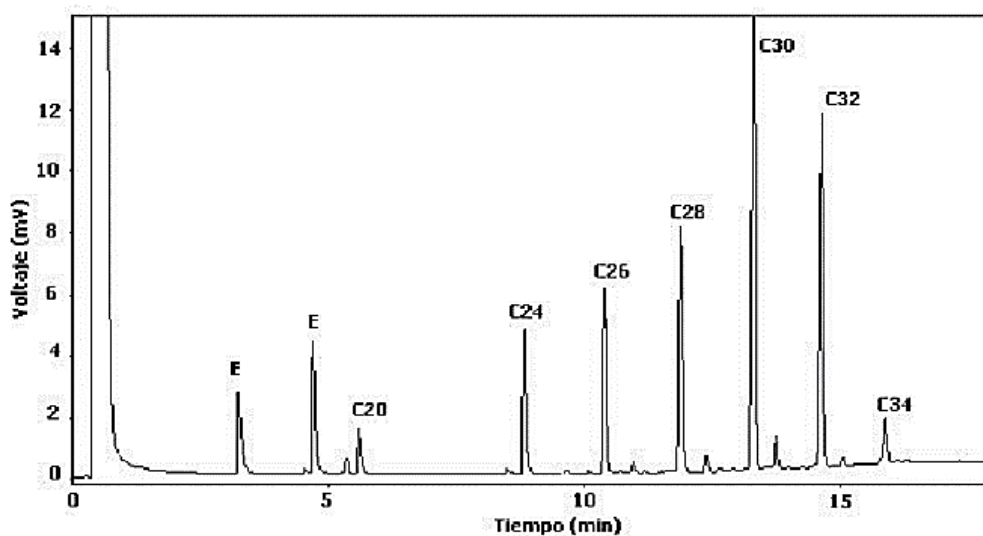
H. CROMATOGRAFÍA DE GASES PARA ANÁLISIS DE RESULTADOS

La cromatografía de gases es un método analítico para determinar la composición de una sustancia de manera detallada. En este tipo de cromatografía, los componentes de una muestra vaporizada se separan al ser distribuidos entre una fase móvil gaseosa y una fase estacionaria líquida o sólida contenida en una columna. La forma en la que se produce la separación es poniendo en contacto al analito con la fase gaseosa, la cual será inerte para no entrar en contacto con él (esta fase tiene como única función transportarlo a través de la columna). Se inyecta por la parte de arriba de la columna (Skoog, West, Holler, & Crouch, 2015).

Existen dos tipos de cromatografía de gases: gas-líquido y gas-sólido. Ambas se diferencian por su fase estacionaria, respectivamente. En la cromatografía gas-sólido, la separación se da por adsorción física. La aplicación de este tipo de cromatografía se ve limitada por la retención semipermanente de moléculas activas o polares y a las pronunciadas colas en los picos de elución. Por otro lado, en la cromatografía gas-líquido, la separación se da en una fase líquida inmovilizada en la superficie de un empaque sólido inerte o en las paredes de un tubo capilar (Skoog, West, Holler, & Crouch, 2015).

La forma en la que un cromatograma de gases muestra los resultados de una muestra analizada es mediante un cromatograma, en la cual se muestran diferentes picos a tiempos de retención específicos, en los cuales cierto compuesto fue retenido en la fase sólida. Un ejemplo de un cromatograma se observa en la Figura 12, la cual no representa ningún compuesto específico, sino que es solo por fines demostrativos.

Figura 12: Cromatograma generado por un cromatógrafo de gases



Para efectos del análisis del cardamomo, existen dos compuestos en específico que tienen relevancia al momento del análisis del aceite esencial de esta planta. α -terpenilo y 1,8-cineol se identifican en la cromatografía de gases para determinar las características del producto final cuando se refina, ya que como se mencionó en el capítulo C, estos compuestos son responsables del aroma y olor del aceite de cardamomo, y de aceites esenciales en general.

I. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

1. Media aritmética (\bar{x})

Es un estadístico que representa el punto central de un conjunto de datos. Es ampliamente utilizada ya que resume con sencillez los datos y tiene fácil interpretación (González Támara, 2018). Se calcula como sigue:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Ecuación 14: Media aritmética

2. Desviación estándar (s)

Muestra el grado de proximidad de los datos con relación a la media aritmética de la población. Cuanto menor es el valor de la desviación estándar, significa que más cercanos son los valores respecto a la media. Se calcula como sigue:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 15: Desviación estándar

Donde:

- x_i es cada valor de la población
- \bar{x} es el valor de la media aritmética
- n es el número de datos existentes.
- La expresión $n - 1$ indica los grados de libertad.

El cuadrado de la desviación estándar es la varianza, mientras que la desviación estándar expresada como porcentaje se denomina desviación estándar relativa o coeficiente de variación (Harris, 2007).

3. Incertidumbre

En un cálculo, cada magnitud medida por un instrumento cuenta con cierta incertidumbre, por lo que es necesario calcular la incertidumbre total de la magnitud calculada. A esto se le llama propagación de incertidumbre.

Este cálculo varía respecto a si es una suma o resta el cálculo hecho, una multiplicación, división o cualquier otra operación (Harris, 2007).

Para suma o resta:

$$e_y = \sqrt{e_{x_1}^2 + e_{x_2}^2}$$

Ecuación 16: Incertidumbre de sumas y restas

Para multiplicación o división:

$$\%e_y = \sqrt{\%e_{x_1}^2 + \%e_{x_2}^2}$$

Ecuación 17: Incertidumbre de multiplicaciones y divisiones

La incertidumbre absoluta puede expresarse también como incertidumbre relativa calculando:

$$u (\%) = \frac{\text{Incertidumbre absoluta}}{\text{Valor}}$$

Ecuación 18: Incertidumbre relativa

En operaciones combinadas, primero se calcula la propagación de incertidumbre para sumas y restas, para luego tomar estas como absolutas y proceder a multiplicaciones y divisiones (Harris, 2007).

V. ANTECEDENTES

El aceite de cardamomo es un producto, como otros aceites esenciales, ampliamente utilizado en diversas industrias del mercado, tal y como se mencionó ya en la sección de Marco teórico. Debido a los usos diversos de este producto es evidente que otras industrias también indaguen en su cosecha, extracción y refinamiento.

El Brazilian Journal of Food Technology (Villeda, y otros, 2017) publicó un artículo en 2017, en el cual el principal objetivo fue encontrar las condiciones óptimas para la obtención de aceite de cardamomo. Ellos utilizaron el método de FSC (Fluidos super críticos) a escala semi-industrial para obtener rendimientos iguales o superiores a los otros métodos convencionales, pero con la suficiente calidad técnica y sensorial para los mercados internacionales, además de microencapsular el aceite para incrementar su solubilidad.

Para controlar su proceso, se basaron en el rendimiento y en el contenido de 1,8-cineol (Eucaliptol) y acetato de α -terpenilo, dos compuestos que también son clave en el proceso del presente trabajo. Además de los objetivos previamente descritos, realizaron una caracterización tanto sensorial como fisicoquímica para determinar las propiedades del aceite obtenido, analizando características como ácidos grasos libres, índices de yodo, de peróxidos, de refracción y concentración de eucaliptol y terpineol, mostrando así los parámetros clave para el control del aceite de cardamomo.

Por otro lado, no se encontraron registros o trabajos previos de diseño referentes a un proceso de refinamiento de aceite de cardamomo como el que se propone en este trabajo. El proceso es simple, pues por el método de extracción aún quedan remanentes de agua que se deben eliminar, y el aireado, el cual provoca una leve oxidación para darle al aceite las características organolépticas necesarias que los clientes están buscando, son procesos que no son comunes en otros estudios.

Son más comunes los trabajos de extracción de aceite partiendo de semillas de cardamomo, sin embargo, el alcance de este trabajo no abarca dicha operación, sino que solo la parte posterior a la obtención del aceite.

VI. METODOLOGÍA

A. MATERIALES, CRISTALERÍA Y EQUIPO

Equipo:

1. Cromatógrafo de gases (AGILENT)
2. Computadora
3. Baño térmico marca ThermoScientific modelo A10.
4. Anemómetro de hélice.
5. Vernier.
6. Pipeteador
7. Refractómetro Atago
8. Cinta métrica

Cristalería:

9. Tubos de ensayo.
10. Beakers

Materiales:

11. Aceite de cardamomo

B. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE CARDAMOMO

Estos procesos se harán para muestras iniciales y finales del proceso de refinamiento. Se analizarán tres procesos, dando un total de 6 muestras para cada análisis.

1. **Determinación del perfil cromatográfico**

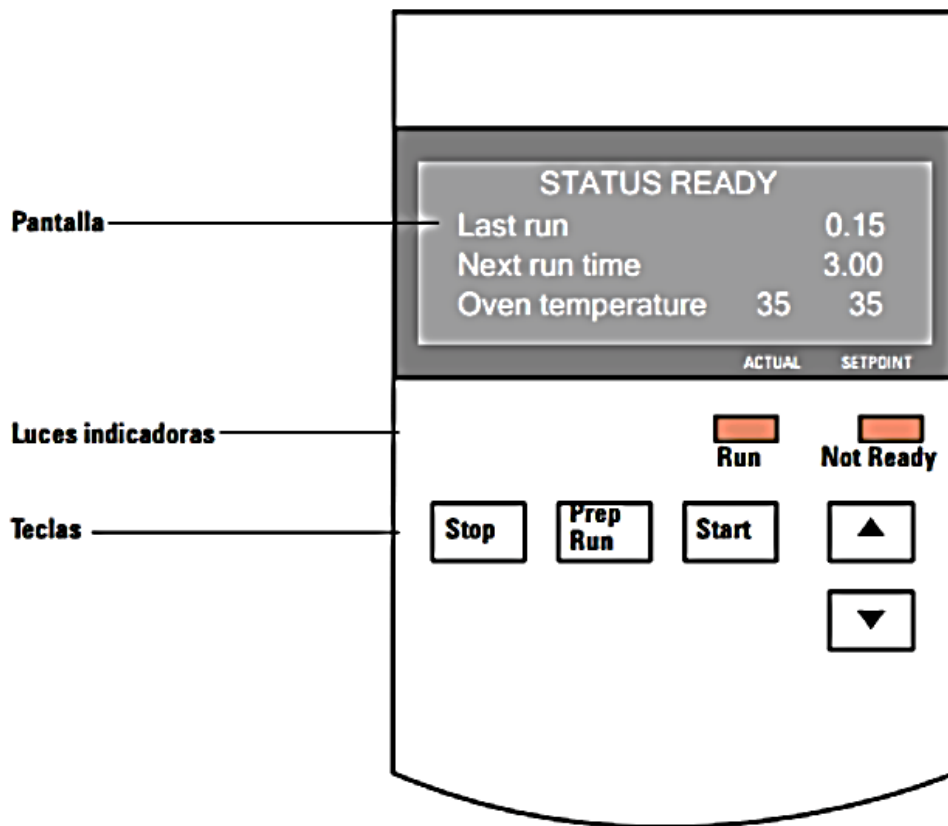
Para la identificación y cuantificación de los compuestos responsables del aroma mediante cromatografía de gases.

Para encender el equipo

- a. Antes de encender el equipo, se ubicaron los cilindros de aire, nitrógeno e hidrógeno de alta pureza UHP y se abrieron las válvulas de todos los cilindros a 70 psi. El cromatógrafo regula la presión automáticamente.
- b. Se encendió el equipo y la computadora.
- c. En la computadora, se abrió la aplicación del cromatógrafo “GC7820A ONLINE”.
- d. En el equipo, se esperaron de 3 a 4 minutos a que apareciera el aviso “GC STATUS READY”.
- e. La computadora abrió con la ventana “BACK SIGNAL”, la cual se cerró.

Para correr al vacío.

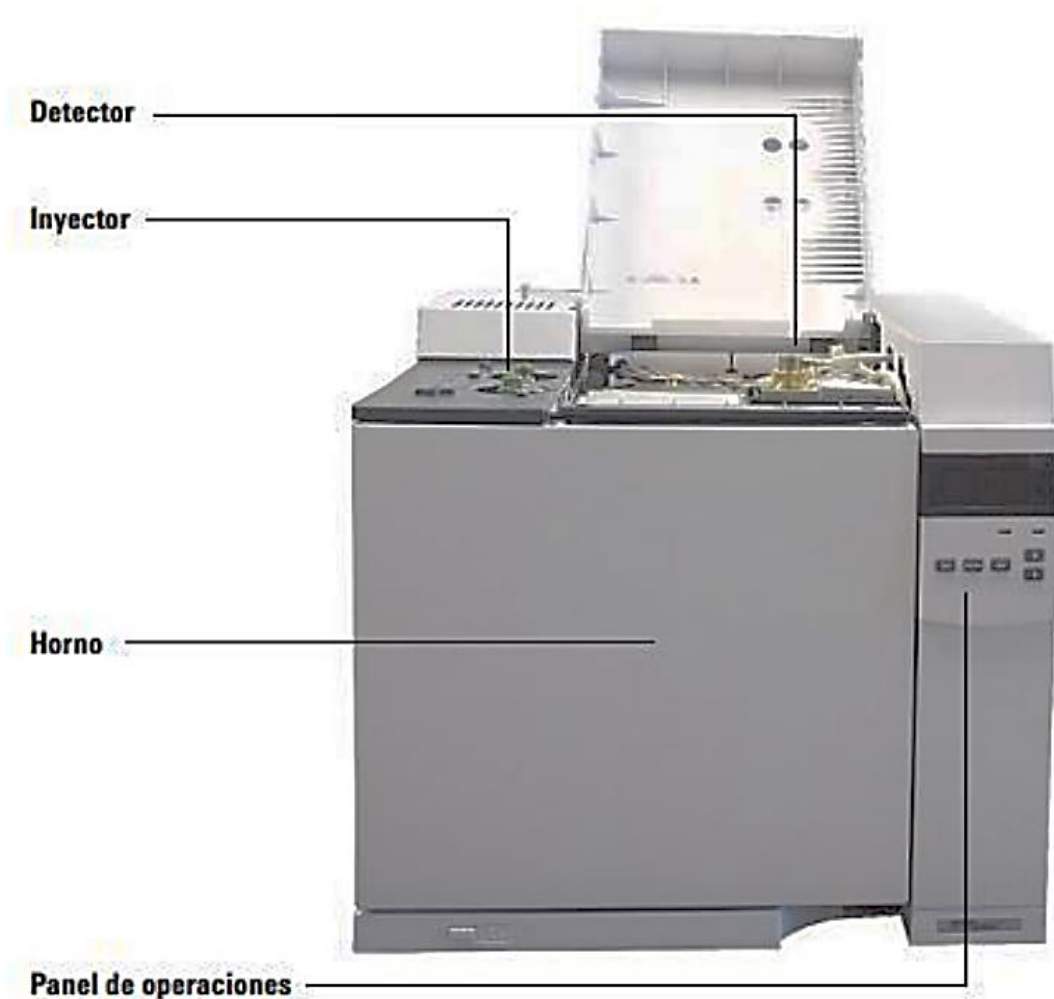
- f. En la interfaz de la computadora, se seleccionó el icono “SINGLE RUN”
- g. En el cuadro de operación abierto, se seleccionó el método predeterminado para aceite de cardamomo.
- h. Se llenaron los campos: SAMPLE ID, DATA FILE y RESULT NAME con el nombre de la corrida a realizar.
- i. Se seleccionó START.
- j. Se esperó a que en la pantalla del equipo saliera el anuncio “IN PRE RUN” y la luz naranja “NOT REDY” cambiara a “RUN”.



- k. Al estar en este punto, se realizó la primera corrida al vacío. Es importante realizar la corrida al vacío ya que limpia cualquier residuo de una corrida anterior. Esta tarda aproximadamente 73 minutos.

Para correr la muestra

- l. Se preparó la jeringa (BR-5 1μL) con 0.2 μL de la muestra de aceite de cardamomo.
- m. Se inyectó la muestra en el agujero del inyector.



- n. Se presionó el botón START en el panel de operaciones del equipo.
- o. En la parte inferior de la pantalla de la computadora se confirmó que la corrida había empezado con el mensaje “RUNNING SAMPLE (NOMBRE DE LA MUESTRA).

*Para detener la corrida se puede pulsar en STOP ya sea en la interfaz de la computadora o en el panel de operaciones del equipo.

Para imprimir el reporte

- p. Cuando finalizó el tiempo de análisis de muestra, se observó en la computadora la gráfica BACK SIGNAL.
- q. En la barra de opciones de la interfaz de la computadora se seleccionó la opción REPORTS > VIEW > METHOD REPORT.
- r. En la ventana que emerge, se dio clic derecho sobre ella y seleccionar “PRINT”.
- s. Se seleccionó la impresora adecuada y se seleccionó OK.

Para apagar el equipo

- t. Se cerraron las ventanas de la interfaz de la computadora
- u. Se apagó la computadora.
- v. Se apagó el cromatógrafo.
- w. Cerrar los cilindros de gas.

Caracterización fisicoquímica. Algunos de los análisis fueron realizados según los métodos de la AOCS para muestreo comercial de grasas y aceites (AOCS, 2020).

2. Determinación de índice de refracción

- a. Se aseguró que el equipo y especialmente el lente de lectura estuvieran limpios antes de analizar la muestra.
- b. Se encendió el baño térmico acoplado al refractómetro y se ajustó su temperatura para que la temperatura de medición siempre sea a 40°C.
- c. Para cargar el instrumento, se abrió el lente de lectura del aparato y se depositó 1 gota de la muestra en él.
- d. Se dejó reposar por unos segundos la muestra en el lente de lectura para que, tanto muestra como equipo, estuvieran a la misma temperatura.
- e. Se presionó el botón de lectura, se esperó a que el equipo realizara la lectura y se tomó el dato.
- f. Se quitó el exceso de muestra del lente con un paño de papel y se limpió el lente de lectura con un kimwipe.
- g. Se realizó el proceso para cada proceso analizado (triplicado).

3. Determinación de índice de yodo: Se siguió el procedimiento detallado de la metodología Tg 1a-64 de la AOCS.

4. Determinación del índice de acidez: Se siguió el procedimiento detallado de la metodología Ca 5a-40 de la AOCS.

5. **Determinación de índice de peróxidos:** Se siguió el procedimiento detallado de la metodología Cd 8b-90 de la AOCS.
6. **Determinación de pH:**
 - a. Se encendió el potenciómetro de electrodo (este ya estaba calibrado).
 - b. Se esperó a que el aparato estuviera listo para la medición.
 - c. Se limpió el electrodo con agua destilada para enjuagar la solución salina en la cual se encuentra guardado y se secó suavemente con una toalla de papel, tratando de no tocar el electrodo.
 - d. Se sirvieron aproximadamente 50 mL de muestra de aceite de cardamomo en un beaker de mayor capacidad.
 - e. Se introdujo el electrodo en la muestra procurando que ésta cubriera la totalidad de la punta del electrodo (la cual realiza la medición)
 - f. Se presionó el botón READ.
 - g. Se esperó a que estabilizara la lectura y se tomó el dato del pH de la muestra.

C. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Para dimensionar el refrigerador industrial:

1. Estudio de tiempos de densidad respecto a temperatura
 - a. Se tomaron tres muestras diferente lote de producción de 30 mL y se dividieron cada una en 5 mL para formar 6 muestras.
 - b. Se colocó cada una en un tubo de ensayo limpio y seco.
 - c. Tomando una muestra de cada lote, se enfriaron los tubos de ensayo de tres en tres a 5°C, monitoreando el tiempo en el que las fases se separan.
 - d. Se hizo lo mismo con cada trío de muestras aumentando la temperatura cada 2 grados hasta llegar a los 15°C.
 - e. Se determinó el impacto que la temperatura tiene en las muestras de aceite de cardamomo y cualitativamente la temperatura en la cual las fases tienden a separarse más.
2. Determinar la carga frigorífica que se debe extraer del aceite para la temperatura determinada.
 - a. Obtener como datos iniciales la capacidad calorífica del aceite de cardamomo y del agua, el porcentaje másico del agua y del aceite inicial para ponderar la capacidad calorífica de la mezcla, si fuera necesario, con el Cálculo 2.
 - b. Se utilizó el Cálculo 1 para determinar la carga frigorífica a extraer de la mezcla (q).

- c. Se estableció el tiempo de residencia que tendrá la mezcla dentro del refrigerador para calcular su potencia.
 - d. Se utilizó el Cálculo 3 para determinar la Potencia requerida.
3. Se determinó mediante el Cálculo 6, la cual expresa el volumen de un cilindro, el área interna necesaria para almacenar 2 toneles de 30 kg utilizados en el proceso. Desglosar las dimensiones del área obtenida.
 4. Se eligió el refrigerador industrial apropiado según la potencia y el tamaño determinado.

Para dimensionar el decantador:

1. Determinar el volumen.
 - a. Se partió recolectando los datos de la densidad del aceite, la masa de aceite inicialmente aireada, y la masa de aceite propuesta en el proceso.
 - b. Con la multiplicación de la densidad por la masa del tonel donde se airea el aceite inicialmente, se determinó el volumen del tonel.
 - c. Con el Cálculo 5, se calculó el nuevo volumen para el tanque de decantación/burbujeo.
 - d. Se multiplicó el valor del volumen por 1.20 para añadir un 20% de cabeza adicional al tanque.
 - e. Con el Cálculo 6 se determinó el diámetro del tanque.
 - f. Se determinó el área transversal del tanque dimensionado, dato que servirá para el dimensionamiento del compresor adiabático.
 - g. Con la regla descrita en el Cálculo 6, donde $h = 2d$, se calculó la altura del decantador.
2. Se determinó el material, disposición y forma de soporte del decantador en el libro de diseño de Walas.

Para dimensionar el compresor adiabático:

1. Determinar el caudal de aire necesario para el proceso.
 - a. Con un anemómetro, determinar la velocidad lineal del aire suministrado actualmente en el proceso.
 - b. Con un vernier, se midió el diámetro de la boquilla por la cual sale el aire, y con el Cálculo 7, se determinó el área.
 - c. Con el Cálculo 8 se determinó el caudal suministrado por el sistema de aireado actual (en triplicado), luego, se utilizó el Cálculo 10 para determinar el caudal promedio del sistema de aireado actual.

- d. Con el Cálculo 11, se determinó el caudal necesario para el tanque dimensionado. Para ello es necesario contar con el área transversal del tonel inicial y el área transversal del tanque nuevo. El cálculo está hecho considerando que el flux de aire se mantenga constante.
2. Calcular la potencia requerida de un compresor modelado como adiabático.
 - a. Se obtuvo como datos iniciales la temperatura de entrada en K.
 - b. Se estableció que la relación C_p/C_v será 1.4.
 - c. Se estableció la presión inicial (atmosférica) y que ésta sufriría un aumento del 10%.
 - d. Con el Cálculo 12, se determinó el caudal de aire corregido según el caudal estándar.
 - e. Se calculó con el Cálculo 13, la potencia del compresor en kW o HP (dividir los kW dentro de 0.7457 para obtener HP).
 - f. El cálculo del aire necesario se hizo en triplicado, para obtener el promedio de los valores obtenidos, ese caudal se utiliza para dimensionar el compresor.

Para dimensionar el burbujeador:

1. Se debe contar con la viscosidad y densidad del fluido donde se burbujeará el aire (aceite de cardamomo).
2. Conocer el caudal de aire que se suministrará al líquido. Dicho caudal se determinó en la sección de *Para dimensionar un compresor adiabático*.
3. Se utilizó el Cálculo 15 para determinar la velocidad lineal del aire en la salida del compresor. Para ello, se debe definir el tamaño de tubería adecuado para controlar la velocidad de salida (Figura 9).
4. Se utilizó el Cálculo 16 para determinar el área de contacto aire-aceite necesaria para el proceso.
5. Se determinó el número de agujeros que se quiere se tenga el burbujeador y se dividió dentro del área previamente determinada para obtener el área unitaria de cada agujero. Luego con el Cálculo 17, se determinó el diámetro de cada agujero, el cual será igual al diámetro de cada burbuja.
6. Se utilizó el Cálculo 18 para determinar el diámetro de la tubería necesaria para diseñar el burbujeador. Cabe mencionar que se supone que el burbujeador se diseñará como un cilindro horizontal, y el largo de éste se estableció como el 80% del diámetro del tanque de burbujeo.

Para dimensionar las bombas centrífugas

1. Se calculó la masa total de aceite cardamomo a succionar.
2. Con la densidad establecida, se utilizó el Cálculo 4 para determinar el volumen total.

3. Se estableció el tiempo de succión requerido, y con este valor se determinó el caudal a bombear con el Cálculo 20.
4. Se investigaron caudales máximos de bombas comerciales.
5. La potencia de la bomba se eligió de manera que el caudal a bombear entrara en el rango de caudal de la bomba comercial.
6. Con el Cálculo 19 se puede comprobar si la potencia de la bomba seleccionada concuerda con la potencia calculada para una bomba centrífuga que bombea líquidos.

D. ELABORACIÓN DE DIAGRAMAS Y PLANOS DIGITALES

Para elaborar diagramas de flujo del proceso:

1. Los diagramas de flujo fueron diseñados utilizando el software Microsoft Visio. Las herramientas y formas utilizadas fueron encontradas en las bibliotecas de Ingeniería > Ingeniería de Procesos: General, Bombas, Intercambiadores de Calor, Recipientes, Instrumentos, Válvulas y accesorios.

Para elaborar planos digitales de distribución de equipos:

2. Se utilizó el software AutoCAD para la elaboración de planos digitales, donde se distribuyó en el espacio disponible, los equipos y disposición.

VII. RESULTADOS

A. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

1. Descripción general del proyecto

Se propondrá una mejora al proceso tipo batch de refinamiento de aceite de cardamomo a la EMPRESA, basándose en la norma ISO 9001, buscando industrializar su proceso actual. Al finalizar, se entregará la caracterización de materia prima y producto terminado, el diagrama del proceso con balances de masa y energía, listado de dimensionamiento de equipos, cotizaciones y distribución del proceso en el espacio designado por la empresa.

2. Descripción detallada del aceite de cardamomo.

Cuadro 3: Caracterización del aceite de cardamomo no refinado

Parámetro	Valor promedio	Desviación estándar
Índice de acidez (%FFA)	0.59	0.07
Índice de Yodo WIJS	180.56	0.64
Índice de peróxidos (Meq/kg)	4.83	0.98
Índice de refracción	1.45359	0.00012
pH	5.04	0.29
% Eucaliptol	32.21	1.71
% Terpineol	38.80	1.21

Cuadro 4: Caracterización fisicoquímica del aceite de cardamomo refinado

Parámetro	Valor promedio	Desviación estándar
Índice de acidez (%FFA)	0.60	0.03
Índice de Yodo WIJS	182.41	0.38
Índice de peróxidos (Meq/kg)	10.56	1.73
Índice de refracción	1.45389	0.00009
pH	4.12	0.51
% Eucaliptol	31.93	1.81
% Terpineol	39.39	1.32

Cuadro 5: Variación porcentual de los parámetros considerados en la parametrización de aceite de cardamomo con base en los valores iniciales

Parámetro	Variación porcentual
Índice de acidez (%FFA)	+1.69%
Índice de Yodo WIJS	+1.02%
Índice de peróxidos (Meq/kg)	+118.63%
Índice de refracción	+0.02%
pH	-18.25%
% Eucaliptol	-0.87%
% Terpineol	+1.52%

Cuadro 6: Descripción general del aceite de cardamomo como producto terminado

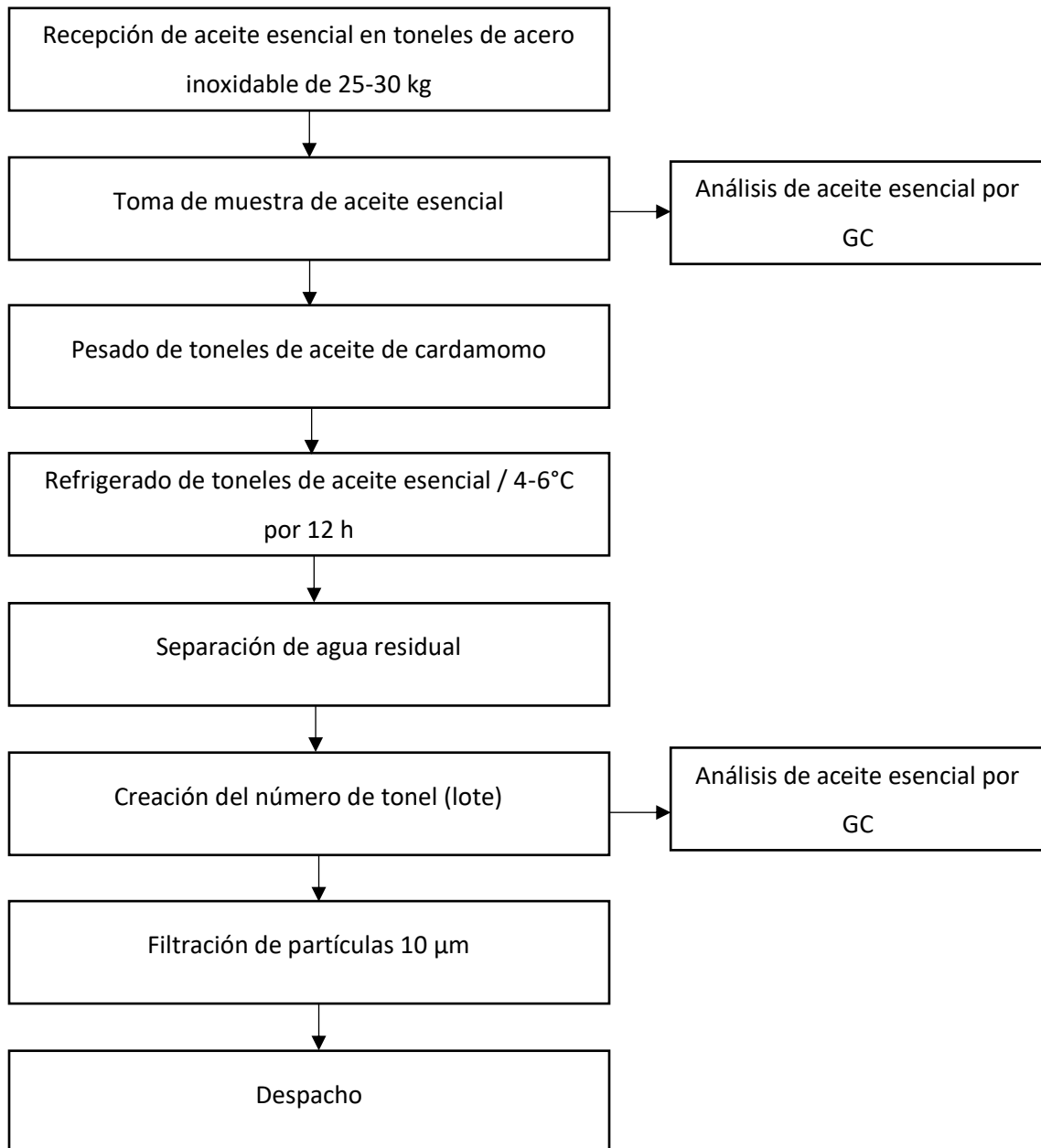
Producto	Aceite de cardamomo
Producción por un lote	30 kg de aceite no refinado
Descripción organoléptica	<ul style="list-style-type: none"> • Apariencia: Líquido color amarillo o marrón-dorado. • Olor: Cardamomo característico (Alcanfor especiado cálido)
Caracterización general	<ul style="list-style-type: none"> • Punto de ebullición: 188°C* • Presión de vapor: 253 Pa* • Gravedad específica: 0.9120-0.9380* • Solubilidad en agua: Insoluble*
Requerimiento de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Área seca y ventilada • Libre de llamas, chispas o calor • Alejado de agentes oxidantes

*Datos proporcionados por la empresa

3. Descripción del proceso actual

Como materia prima se tendrá producto intermedio del proceso de elaboración de aceite de cardamomo. El aceite viene con un 0.03% m/m de agua remanente de la extracción en toneles de 30 kg. Ya en planta, se toma una muestra y se analiza con un cromatógrafo de gases para determinar su composición inicial, luego, los toneles son refrigerados a 4-6°C por 12 horas para su conservación. Aceite y agua son transportados al decantador por una bomba centrífuga donde se separa la fase acuosa de la oleosa. Posteriormente, del decantador sale el aceite hacia un tonel donde se almacena. Los toneles son aireados durante un tiempo variable, debido a que burbujearle aire ayuda a obtener el aroma deseado, para después ser transportados usando una bomba centrífuga hacia toneles de almacenamiento de producto final de 200 kg. En este momento, se vuelve a muestrear para determinar las características finales del producto, los cuales son una mezcla de varios procesos.

Figura 13: Diagrama de decisiones del proceso actual de refinamiento de aceite de cardamomo²¹



²¹ El diagrama fue elaborado por la EMPRESA.

4. Balance de masa general del proceso

$$M_{agua} + M_{aceite} = M_{alimentación}$$

5. Estándares

Las directrices para seguir serán:

- a. ISO 9001:2015
- b. Reglamento técnico centroamericano (RTCA 67.04.40:07)

Los estándares de equipo serán:

- c. American Society of Mechanical Engineers (ASME)

6. Control de proceso

Al ser un proceso tipo batch, la instrumentación de proceso no será necesaria de forma automática, pues los volúmenes a trabajar no son grandes y con indicadores de variables críticas, el control de la operación lo pueden llevar a cabo los operadores de forma manual, sin problemas. Sin embargo, es necesario la implementación de termómetros dentro del tanque multipropósito, un visor vertical al tanque para observar el interior durante el proceso de refinamiento y un tomamuestras para poder conocer el grado de avance del proceso conforme se lleva a cabo. Además, será necesario la toma de tiempos de aireado para un mejor control del aire suministrado al proceso. Todo esto debe ser plasmado en hojas de control para su respaldo y seguimiento.

7. Operación y mantenimiento

- a. Capacidad de la planta: 150 kg de producto intermedio/batch.
- b. Período de operación: Será programada de acuerdo con la demanda del producto.
- c. Período de mantenimiento: 2 veces al mes, programadas cuando no haya producción.

8. Infraestructura

- a. Área de manufactura
- b. Área de análisis y aseguramiento de calidad
- c. Área de limpieza y sanitización

9. Servicios

- a. Energía eléctrica: Para el acondicionamiento de bombas, equipos de refrigeración, compresores e iluminación de sectores productivos.
- b. Aire comprimido: En el proceso de burbujeo del producto intermedio.
- c. Agua: Agua tratada para uso de lavado y desinfección de manos y utensilios.

10. Seguridad:

- a. Acceso a área productiva: Identificación y EPP para operarios (mascarilla, botas industriales, guantes de nitrilo, protectores auditivos).
- b. Estándares de seguridad.
- c. Administración de riesgo: HACCP o HAZOP.
- d. Utilización de pallets para el mejor transporte de toneles de proceso
- e. Uso de montacargas ya sea manual o mecánico.

B. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Cuadro 7: Características del refrigerador industrial

Característica	Especificación
ID	F-100
Dimensiones (m)	1.91 x 1.42 x 0.66
Intervalo de temperatura requerida (°C)	0-4
Carga calorífica extraíble (kJ)	-3,202.20
Potencia requerida (kW)	-0.44
Material	SS304

Cuadro 8: Características del tanque multipropósito de burbujeo

Característica	Especificación
ID	BT-100
Volumen (m ³)	0.21
Disposición	Vertical
Diámetro (m)	0.51
Altura (m)	1.02
Material	SS316

Cuadro 9: Características del compresor

Característica	Especificación
ID	C-100
Potencia (kW «hp»)	0.097 «1/8»
Material	SS304
Eficiencia	0.8

Cuadro 10: Características del burbujeador (tubo horizontal)

Característica	Especificación
ID	B-100
Disposición	Horizontal
Número de agujeros	200
Diámetro de agujeros (mm)	3.71
Largo (m)	0.40
Diámetro de la tubería (m «in»)	0.014 «1/4»
Cédula	40
Material	SS304

Cuadro 11: Características de las bombas centrífugas

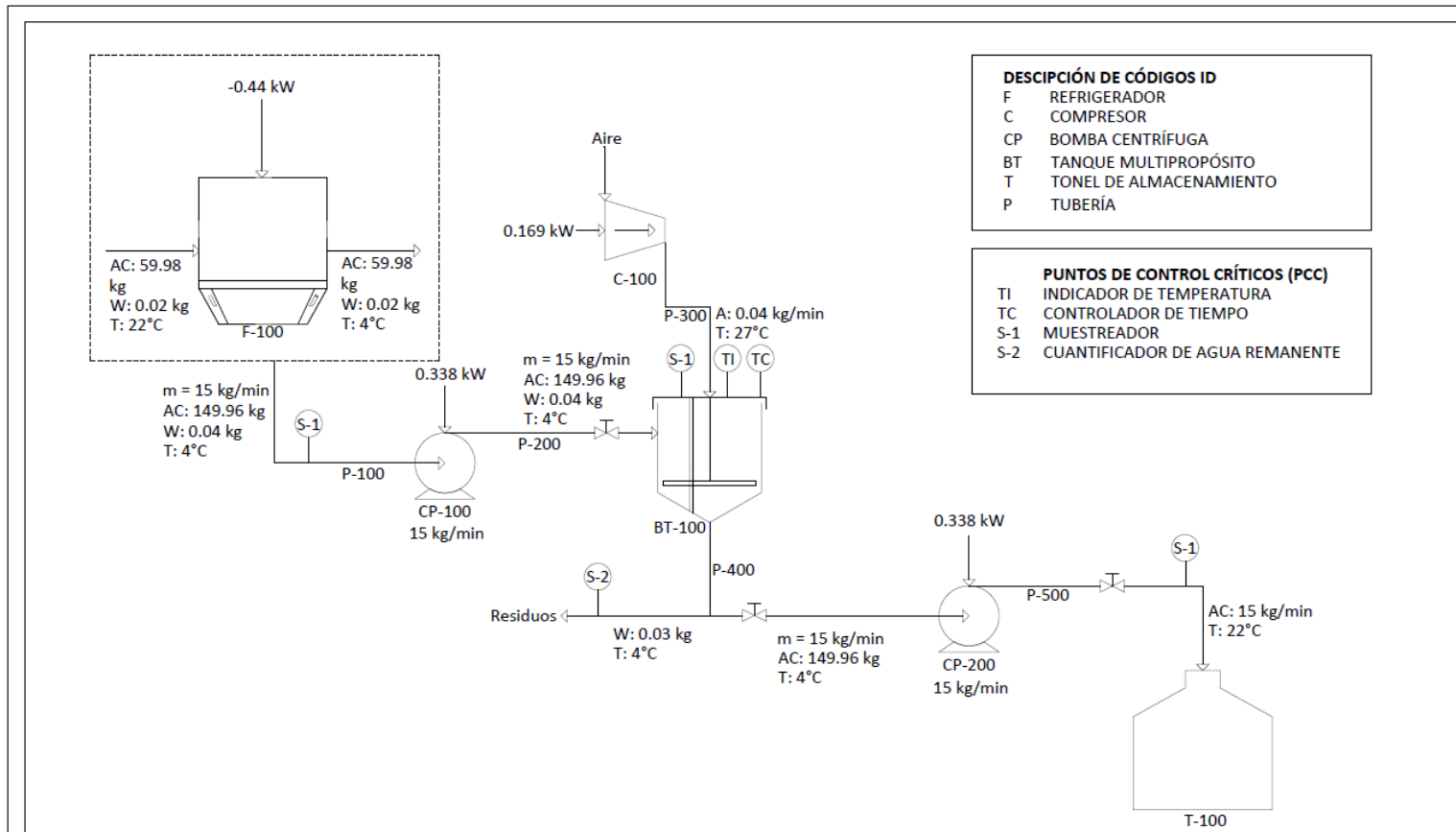
Característica	Especificación	
ID	CP-100	CP-200
Potencia (kW «hp»)	0.19 «1/4»	0.19 «1/4»
Material	SS304	SS304

Cuadro 12: Características de las tuberías²²

Característica	Especificación				
ID	P-100	P-200	P-300	P-400	P-500
Diámetro (m «in»)	0.027 «1»	0.027 «1»	0.051 «2»	0.027 «1»	0.027 «1»
Norma	-	40	40	40	-
Material	Manguera	SS304	GS	SS304	Manguera

²² Las tuberías fueron calculadas con los datos encontrados en el Apéndice 3 de Operaciones Unitarias en Ingeniería Química (McCabe, Smith, & Harriot, 2007). Dichos datos están avalados por la ANSI B.36 (American National Standard Institute), con autorización de la ASME (American Society of Mechanical Engineers).

C. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO



Empresa:	Nombre de diagrama: Diagrama de flujo del proceso con balance de masa y energía
Elaborado por: Víctor Orellana	No. de plano: 05
Fecha de elaboración: 20/07/2023	Vista:
Fecha de aprobación:	Escala: 1:5
	Unidad de medida: Metros

D. ANÁLISIS DE BRECHAS DEL PROCESO SEGÚN LA ISO 9001:2015

Es pertinente mencionar en esta sección lo ya mencionado en la sección 4 Marco teórico > Normativas de sistemas de gestión de calidad.

Artículos y secciones de la ISO 9001:2015 aplicables al diseño del proceso de refinamiento de aceite de cardamomo serán mencionadas acá.

Las secciones y cláusulas extraídas en esta sección del presente trabajo son únicamente con fines operativos. La EMPRESA ya cuenta con los demás requerimientos sobre documentación y estrategias a implementar.

INTRODUCCIÓN

0.3 Enfoque basado en procesos:

Esta norma internacional promueve la adopción de un enfoque basado en procesos al desarrollar, implementar y mejorar la efectividad de un SGC, para mejorar la satisfacción del cliente, al cumplir con los requisitos del cliente:

El tener un proceso diagramado, dimensionado e implementado en un lugar delimitado por planos digitales permite mejorar la operación de los procesos que se llevan a cabo para generar los productos que la empresa realiza.

Comprender y generar los procesos interrelacionados con un sistema contribuye a la eficacia y eficiencia de la organización para lograr los resultados previstos.

El propósito del presente trabajo, a través del diagrama de flujo establecido con las operaciones unitarias existentes en el proceso, delimitando su capacidad y haciendo su respectivo balance de masa y energía permite la correcta comprensión de la interrelación de procesos existentes en el proceso productivo.

La aplicación del enfoque basado en procesos en un SGC permite:

- Mejora de procesos basada en la evaluación de los datos e información

Un proceso industrializado (entiéndase un proceso con reducción de incidencia de error humano) permite el mejor control de las operaciones al estar todo diseñado y calculado para un propósito en específico, lo cual permite recabar más información sobre los procesos individuales para poder analizarlos y modificarlos fácilmente.

ALCANCE

El alcance de la Norma Internacional especifica los requisitos de un SGC cuando una organización: Necesita demostrar su capacidad para proporcionar de manera consistente productos y servicios que satisfagan al cliente y los requisitos legales y reglamentarios aplicables.

La estandarización e industrialización de un proceso permiten que los resultados puedan ser medibles y replicables de una manera más certera que llevando a cabo el proceso de manera empírica o artesanal.

CONTEXTO DE LA ORGANIZACIÓN

4.1 Entender la organización y su contexto

La organización debe determinar los problemas externos e internos que sean relevantes para su propósito y su dirección estratégica y que afecten su capacidad para lograr los resultados esperados de su SGC.

Tener un entendimiento más profundo de los procesos que se llevan a cabo permite la mejor detección de problemas que puedan surgir en el camino hacia el cumplimiento de una política de gestión de calidad.

4.4 SGC y sus procesos

La organización debe determinar los procesos necesarios para el SGC y su aplicación en toda la organización, y debe:

- Determinar entradas requeridas y las salidas esperadas de estos procesos
- Determinar la secuencia e interacción de estos procesos
- Mejorar los procesos y el SGC.

Mediante un balance de masa y energía calculado en un diagrama de flujo, es posible determinar las entradas requeridas del proceso, además del estudio de su interacción entre procesos y, mediante una caracterización de producto final con estudios que relacionan los pasos críticos del proceso, es posible determinar las salidas esperadas. Por último, la presente propuesta de diseño es una alternativa de mejora al proceso actual, en donde con base en estudios más profundos, contando con el equipo y localización de procesos adecuados, se puede establecer un plan de mejora continua.

ORGANIZACIÓN

8.1 Planificación y control operativo

La organización debe planificar, implementar y controlar los procesos necesarios para cumplir con los requisitos para la provisión de productos y servicios mediante:

- Determinar los requisitos para productos y servicios
- Establecer criterios para procesos y la aceptación de productos y servicios.
- Determinar los recursos necesarios para lograr la conformidad con los requisitos del producto y servicio.

La determinación de requisitos para productos y servicios además de sus criterios de aceptación permiten una mejor reproducibilidad de los procesos para generar productos conforme a los requisitos del cliente. El caracterizar la materia prima de ingreso es una práctica importante para lograr lo anterior, ya que te permite trabajar con materias primas con características conocidas, las cuales ya se han estudiado y se puede predecir su comportamiento en el proceso.

8.3 Diseño y desarrollo de productos y servicios

La organización debe establecer, implementar y mantener un proceso de diseño y desarrollo que sea apropiado para asegurar la posterior provisión de productos y servicios:

La propuesta de diseño presentada representa una mejora respecto a eficiencia del proceso, la cual permite mejorar la provisión de productos a los clientes.

8.3.2 Planificación de diseño y desarrollo

Al determinar las etapas y controles para el diseño y desarrollo, la organización debe considerar:

- Las etapas requeridas del proceso, incluidas las revisiones de diseño y desarrollo aplicables.

Con el diseño propuesto, se abre la posibilidad que, sobre su implementación, surjan planes y oportunidades de mejora en el futuro, pudiendo determinar fácilmente, mediante la información recabada en cada etapa.

8.5.1 Control de producción y prestación de servicios.

La organización debe implementar la producción y la provisión de servicios bajo condiciones controladas. Las condiciones controladas incluirán, según corresponda:

- La disponibilidad de información documentada que defina las características de los productos a producir, los servicios a prestar o las actividades a realizar.
- Los resultados a lograr.
- El uso de infraestructura y ambiente adecuado para la operación de procesos
- La implementación de acciones para prevenir el error humano.

La caracterización y los procedimientos para llevar a cabo estos análisis en la empresa son fundamentales para el control de producción de la empresa. Además, el proceso propuesto sugiere la implementación de equipo y su distribución en el ambiente de trabajo para promover la adecuada ejecución del proceso productivo. Por último, la propuesta de un proceso cerrado²³ supone reducir al mínimo el error humano en el proceso productivo.

ANÁLISIS DE LAS CLÁUSULAS SELECCIONADAS

A pesar de que la presente norma es genérica y no incluye requisitos técnicos para su implementación, muchas de las cláusulas estipuladas en ella, tales como las mencionadas en esta sección anteriormente, permiten darse cuenta de la importancia que tiene un correcto diseño de proceso en un SGC. Los requisitos en esta norma son complementarios a los requisitos para productos y servicios y pueden aplicarse a una amplia variedad de procesos e industrias, sin importar el tamaño o los productos que genere.

En la sección de Anexos > Manual de implementación de la ISO 9001:2015 al proceso de refinamiento de aceite de cardamomo, se detalla el procedimiento sugerido para la implementación de un SGC, el cual hace énfasis especial en la implementación del proceso de refinamiento propuesto. Además, adicional a los documentos e información establecida en las subsecciones previas en la sección RESULTADOS, se sugiere a la EMPRESA contar con el equipo, cristalería y reactivos mencionados en la sección de ANEXOS > METODOLOGÍAS DE LA AOCS PARA ANÁLISIS DE ACEITE DE CARDAMOMO para poder realizar los análisis de caracterización y así asegurar el cumplimiento de requisitos de entrada y de producto terminado. Se recomienda como mínimo implementar el análisis VALOR DE PERÓXIDO, ÁCIDO ACÉTICO, MÉTODO DE ISOOCTANO, ya que fue el que mayor variación porcentual mostró entre el pre y post refinado del producto y es un indicador representativo de la oxidación del aceite, el cual se puede utilizar para predecir su composición y características organolépticas finales.

²³ Entiéndase cerrado como un proceso donde únicamente se tiene contacto con la materia prima al inicio del proceso, y se vuelve a manipular al obtenerla como producto terminado.

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en la información proporcionada por la empresa y datos experimentales cuantificados, se logró realizar la propuesta de diseño de un proceso de refinamiento de aceite de cardamomo de la EMPRESA en cuestión. Cabe mencionar que el propósito de este trabajo está enfocado en la industrialización de un proceso que actualmente se lleva a cabo de manera manual.

La EMPRESA actualmente busca cumplir con los requisitos de la Norma Internacional ISO 9001:2015, por lo cual, en el transcurso del cumplimiento de los resultados, dichos requisitos se verán implicados.

Para poder dar cumplimiento a los objetivos establecidos al inicio del presente trabajo, se inició con la caracterización del producto intermedio (llamando así al aceite de cardamomo previo al refinamiento). Los análisis realizados fueron: Índice de acidez (%FFA), Índice de Yodo WIJS, Índice de peróxidos (Meq/kg), Índice de refracción, pH y análisis por cromatografía de gases para determinar su composición y concentración de principales compuestos.

En resultados únicamente se muestra el valor promedio del Eucaliptol y Terpineol, los cuales son dos compuestos utilizados por la EMPRESA como referencia para determinar la calidad final del aceite de cardamomo²⁴. Cabe destacar que es correcto analizar estos dos compuestos para validar la calidad del aceite de cardamomo, ya que, según (Villeda M. , 2015), el 1,8-cineol (Eucaliptol) y el α -terpineol son dos de los compuestos encargados de darle al aceite de cardamomo su aroma y sabor característico, y, efectivamente, son los dos compuestos en el espectro obtenido que se encuentran en mayor concentración en las muestras analizadas. Los cromatogramas del aceite de cardamomo completos pueden verse en Anexos > Cromatogramas, donde se muestran cromatogramas de 5 procesos en su etapa inicial (antes de refinamiento) y en su etapa final (ya refinado).

Por otro lado, en la sección de Anexos > Análisis de concentración de componentes, se observan todos los datos tabulados de los cromatogramas previamente mencionados. Estas gráficas se elaboraron con el objetivo de descubrir cual era la tendencia del eucaliptol y terpineol al ser oxidados por el aire. No se esperaba una tendencia en especial que indicara el comportamiento

²⁴ Información dada por la EMPRESA.

correcto de dichos componentes, sino al contrario, se esperaba descubrir dicha tendencia y poner el primer precedente a un futuro análisis en donde se pueda tomar como punto de partida los valores promedio determinados del eucaliptol y terpineol y así poder utilizarlos como valores predictivos del estado del aceite de cardamomo. Sin embargo, se considera importante mencionar que, para obtener un modelo del comportamiento como tal, se deben muestrear y analizar más procesos y así, poder hacer los datos más fiables.

El análisis cromatográfico puede ser la herramienta adecuada para elaborar un modelo cinético ya que permite evaluar la concentración de los componentes en cualquier intervalo de tiempo, y requiere una cantidad pequeña de material. Este modelo puede ser predictivo para las propiedades del aceite de cardamomo, además, una cinética de reacción del aceite de cardamomo con el aire suministrado puede mejorar la consistencia y uniformidad de resultados obtenidos del proceso productivo, pero, como se mencionó antes, para ello, el número de procesos estudiados debe ser mayor al analizado en este trabajo.

Respecto a los demás análisis de caracterización (los resultados se muestran en los Cuadros 3 y 4 en la sección de Resultados > Caracterización de materiales) se observa que los cambios de las variables analizadas son mínimos antes y después del proceso de refinamiento, sin embargo, es preciso analizar una por una las pruebas realizadas. Comenzando con el índice de acidez, se tuvo un incremento del 1.69% respecto al valor inicial, el índice de yodo aumentó un 1.02%, el índice de peróxidos si tuvo un aumento significativo, creciendo un 118.63%, mientras que el índice de refracción aumentó levemente un 0.02%. Por otro lado, el pH fue el único parámetro que disminuyó un 18.25%. Por último, los compuestos relevantes en la cromatografía (Eucaliptol y Terpineol) tuvieron una variación del 0.87% y 1.52%, respectivamente. El Eucaliptol presentó tendencia a disminuir, mientras que el Terpineol aumentó luego del refinamiento, descubriendo así, la tendencia como se mencionó anteriormente.

Se puede observar que los índices de acidez, yodo y peróxidos son parámetros relacionados con la calidad de un aceite o grasa, los cuales, a mayor valor indican una oxidación e insaturación de los componentes que conforman el aceite (Hanna Instruments, 2023) y (FoodLab, 2023). Claramente, al poner al aceite en contacto con el aire, se producirá una oxidación, lo cual se confirma con el aumento de estos tres parámetros, como se mencionó previamente. Por otro lado, se puede confirmar el fenómeno de la oxidación del aceite en la disminución del pH, ya que justamente esto hace más ácida la muestra analizada

El índice de refracción es una característica utilizada para identificar aceites esenciales, ya que los aceites, como la mayoría de las sustancias, reflejan de una forma específica la luz en su interior, por lo que el valor del índice de refracción determinado en la caracterización es mismo mostrado en la teoría para el aceite de cardamomo (Villeda M. , 2015). Además, el índice de refracción está relacionado directamente con el índice de yodo, siendo este un indicador de la insaturación del aceite, cuando el índice de yodo aumente, también lo hará el índice de refracción (FoodLab, 2023), como se reflejó en los resultados de la caracterización.

Dando conclusión al primer objetivo, se puede determinar claramente que los análisis de caracterización son la propuesta más clara y práctica para mejorar el control de productos terminados y el ajuste organoléptico buscado. Sin embargo, de cara al futuro, la mejor opción sería unificar toda la información proporcionada en este trabajo y convertir tanto los resultados de los análisis de caracterización propuestos, como la cinética de reacción sugerida por el muestreo y análisis con CG, en parámetros estandarizados e importantes para la generación de productos uniformes que cumplan siempre con las características requeridas por los clientes.

Con respecto al segundo objetivo, en la propuesta realizada se modificó la secuencia del proceso actual²⁵ más no sus condiciones de operación, en donde las actividades se llevaban a cabo en el siguiente orden: refrigeración, eliminación de agua por decantación, aireamiento de aceite y almacenaje de producto terminado. En esta etapa se realiza un movimiento innecesario de material, el cual representa peligros físicos a los operadores por carga y transporte de materiales pesados, además, riesgos químicos por sistema inadecuado de aireamiento, donde puede haber derrames de aceite de cardamomo el cual represente contacto de operarios con material o pérdidas económicas. El proceso actual propone un único tanque multipropósito, donde se llevará a cabo la eliminación de agua y aireamiento, proporcionado por un burbujeador que distribuirá aire comprimido generado en un compresor industrial. La carga y descarga del tanque se hará mediante tubería fija y bombas centrífugas para el propósito. Con este diseño se reduce al mínimo los riesgos anteriormente descritos para los operadores de la EMPRESA. El diagrama de flujo del proceso propuesto puede observarse en la sección Resultados > Diagrama de flujo del proceso.

²⁵ Una descripción más detallada del proceso actual puede encontrarse en la sección Resultados > Caracterización de materiales > Descripción de proceso actual

Ahora bien, dicha propuesta requiere el dimensionamiento²⁶ de los equipos, de los cuales, su dimensionamiento se analiza a continuación: El refrigerador se propuso para almacenar 2 toneles de 30 kg. Se realizó un análisis de densidad vs temperatura (Anexos > Análisis T vs ρ), el cual se analizó cualitativamente determinando que no hay una evidencia notoria que la temperatura tenga un impacto en la densidad del producto, la cual permita la mejor separación en el decantador, es por esto, que no se incluyó en el decantador una chaqueta con agua de enfriamiento para dicho propósito, sino que únicamente se dimensionó un refrigerador industrial capaz de mantener la temperatura del aceite de cardamomo en el rango de 0-4°C, temperatura que es apropiada para el almacenaje de aceites esenciales, ya que conserva sus propiedades por un periodo prolongado de tiempo, evitando que se caliente y puedan cambiar sus características. Su potencia es de -0.44 kW y se estimó un tiempo de 4 horas de enfriamiento para bajar a la temperatura objetivo por cuestión de costos de electricidad y acceso a electricidad bifásica, y ya que la demanda de enfriamiento no es alta, como para necesitar un tiempo menor de enfriamiento. El volumen mínimo interno necesario para almacenar dos toneles de 30 kg es 0.8 m³ y el material propuesto es SS304 debido a la alta durabilidad del material y recomendaciones de inocuidad por parte de la ANSI americana.

Por otro lado, el decantador se propuso con un volumen de 206 L, el cual ya incluye un 20% de cabeza extra para evitar rebalses. Este tanque está diseñado para soportar 150 kg de aceite de cardamomo, lo cual es equivalente a 5 procesos, dicho tanque puede tener una disposición vertical y ser sujetado por patas del mismo material del tanque debido a su volumen menor a 3,800 L, según (Walas, 1990) y el material propuesto es SS304 debido a su resistencia física e inocuidad de trabajo. El decantador tendrá instrumentación manual, la cual constará de toma-muestras y de termómetros que indiquen la temperatura del aceite durante el proceso, además de un visor dispuesto de manera vertical a lo largo del decantador. Esto se propone con el objetivo que se pueda controlar y conocer el estado del aceite de cardamomo durante el proceso de refinamiento, tanto visualmente como con análisis de CG siempre que se requiera. En el proceso actual, agua es separada de esta manera, pero luego se decanta y se separa en los toneles de 30 kg para su aireado. Por ello, se propone ahorrar este movimiento de material realizando el aireado de aceite en el mismo decantador.

²⁶ Si bien es cierto que la eliminación de agua es un proceso que se seguirá tomando en cuenta en la propuesta, se determinó que esta representa un 0.03% de la masa total de un proceso, por lo que, para fin de cálculos, no se consideró ponderar el agua como representativa.

Para ello, se dimensionó un compresor que pueda satisfacer los requerimientos promedio de aire determinados mediante experimentación en un proceso (tonel de 30 kg). Cabe mencionar que se dimensionó un compresor sobre un ventilador por el levantamiento de presión necesario (10%), el cual representa alrededor de 10 kPa. Un ventilador tiene la capacidad de levantar la presión 3 kPa, si se requiere un levantamiento de presión mayor, un compresor es el recomendado (Towler & Sinnott, 2008).

En el dimensionamiento del compresor se realizó un escalamiento del proceso tomando en cuenta el flux actual, el cual se determinó con el caudal de aire determinado, promediando el tiempo de aireado y los volúmenes de aire para un proceso de 30 kg (Anexos > Datos calculados > Cuadro 25), y manteniendo el flux constante, se determinó el nuevo caudal de aire que se necesita que el compresor genere para mantener el proceso de transferencia de masa igual al que actualmente se realiza, el cual es 0.0006 m³/s (1.99 m³/h). Dicho compresor es de flujo axial, ya que es apto para presiones bajas y flujos moderados, con una potencia de 1/8 hp y de SS304.

Este proceso de aireamiento es realizado para modificar levemente el olor final del producto, según requerimiento de clientes. El proceso modifica los valores de la cromatografía de gases y de la caracterización mencionados al inicio del análisis de resultados (Concentración de eucaliptol y terpinol, y los índices de acidez, yodo, peróxidos, refracción y el pH). Por otra parte, es pertinente hacer énfasis en la importancia que tendrá para el futuro el análisis de tiempo de aireado si se quiere construir un modelo cinético. Los análisis cromatográficos deben ir de la mano con los tiempos de aireado para estandarizar la operación, la cual es de suma importancia para un resultado final adecuado. La temperatura también es una variable que se recomienda tomar en cuenta en los análisis posteriores, pues puede tener un impacto relevante en los resultados obtenidos debido a que el calor es un factor que incrementa la oxidación de los aceites.

Para difundir correctamente el aire dentro del aceite contenido en el tanque, se dimensionó un burbujeador cilíndrico, el cual se necesita sea de 0.41 m, valor que se determinó utilizando el 80% del diámetro del tanque. Se utilizó este porcentaje debido a que se necesita que el burbujeo no esté concentrado en el centro del tanque, sino que abarque la mayor parte de él. Para cumplir con el área de contacto necesaria aire-aceite, se necesita que el diámetro del tubo sea de ¼” nominal, según la Figura 9. El número de agujeros se estableció en 200 de 3 mm de diámetro. Los cálculos de este dimensionamiento pueden observarse en Anexos > Cálculos de muestra y

Anexos > Datos calculados. El material de la tubería será de SS304, ya que se dimensionó como tuberías de acero según la figura anteriormente mencionada.

Se necesitarán dos bombas centrífugas para el proceso, las cuales se calcularon con el Cálculo 19 (Anexos > Cálculos de muestra). Para el caudal de 0.973 m³/h, equivalente a 150 kg de aceite de cardamomo con un tiempo de descarga establecido de 10 minutos, se necesitó una bomba de 0.062 hp, sin embargo, las bombas de ¼ hp (0.25 hp) tienen capacidad de bombear hasta 70 L/min, lo cual es equivalente a 4.2 m³/h, lo cual cubre perfectamente la necesidad de bombeo que se tiene. Si se quisiera un caudal menor, puede implementarse un variador con el cual se controlarían las RPM e implementar un rotámetro que permitirá monitorear el flujo en tiempo real.

No se utilizaron curvas características para el dimensionamiento de las bombas debido a que el caudal es muy pequeño en comparación con los establecidos en las bombas, además, la cabeza a levantar no supera los 2 metros, por lo que no entran en el rango para seleccionar una bomba más potente. Tampoco se hizo una determinación de las pérdidas por fricción por tuberías por la misma razón, los recorridos son demasiado pequeños como para que estas pérdidas sean considerables. Por último, las tuberías fueron dimensionadas respecto al diámetro de succión y descarga de las bombas seleccionadas. Se aseguró que fuera un diámetro prudente calculando la velocidad lineal que el fluido va a tener tomando en cuenta el caudal que la bomba transportará y el área transversal determinada mediante el diámetro interno de la tubería seleccionada.

Respecto a la relación que tiene el diagrama de flujo y el dimensionamiento de equipos recientemente descrito, es importante mencionar los puntos de control relevantes que se propone se tengan en la ejecución del proceso de refinamiento de aceite. El primero, como se mencionó anteriormente en este análisis de resultados, es el muestreo. Ya sea para la construcción en el futuro de un modelo cinético, o para la toma de muestras para los análisis de control de oxidación sugeridos, el muestrear y verificar el aceite de cardamomo durante el proceso es muy importante para asegurar su calidad y validar que todos los parámetros que debe cumplir el proceso están siendo satisfactoriamente ejecutados. Por otro lado, en el mismo tanque multipropósito, un cronómetro será indispensable para cuantificar de una manera precisa los tiempos de aireado para empezar a generar una base de datos que permita observar el comportamiento del aire en los diferentes procesos refinados, para lo cual se sugiere puntualmente utilizar el formato mostrado en el Cuadro 40 > Hoja de control de Puntos de Control Críticos (PCC), el cual permitirá a través de su uso un mejor control y tabulación de datos. La temperatura también debe ser medida y registrada

como una variable potencialmente crítica, la cual la experimentación definirá su incidencia en el proceso. Por último, se debe recolectar y generar evidencia del agua que se obtiene remanente de cada proceso, pues debe ser un indicador de la calidad de extracción que se está realizando en la planta de producción.

Es pertinente hacer énfasis en este punto crítico, pues valdría la pena analizar el proceso para determinar si se pueden hacer mejoras técnicas que permitan la eliminación del agua previa al refinamiento, pues esta solo representa el 0.03% m/m en promedio de un proceso de 30 kg. En lugar de diseñar y analizar como eliminar el agua en el refinamiento, valdría la pena evaluar si se pueden modificar parámetros técnicos o estrategias que permitan eliminar el agua, lo cual podría simplificar el proceso posterior.

Dando cumplimiento al tercer objetivo específico de este trabajo, se analizó detalladamente la Norma Internacional ISO 9001:2015 para determinar las cláusulas relevantes, las cuales tienen relación con la propuesta de proceso realizada. Hay que iniciar aclarando que el propósito de la ISO 9001:2015 es poder ser aplicable a cualquier proceso, sin importar su tipo, tamaño o producto a desarrollar, por lo cual, en los requisitos no se encuentran, como tal, procedimientos técnicos que hacer para su implementación. Sin embargo, en la sección de Resultados > Evaluación de propuesta de proceso según la ISO 9001:2015, se detallan todas las cláusulas relevantes que tratan sobre la importancia del diseño, dimensionamiento y esquematización del proceso productivo para poder generar productos que cumplan con los requisitos establecidos por el cliente, para apoyar a un correcto SGC en cualquier empresa.

Debido a ello, presente trabajo aporta al cumplimiento de la Norma Internacional lo siguiente: El primer objetivo, el cual trata sobre la caracterización fisicoquímica de productos iniciales y finales permitirá que la EMPRESA cumpla con las cláusulas **0.1.a, 0.1.d, 1.a, 4.4.1.a, 8.1.b, 8.1.c, 8.2.3.1.c, 8.3.5.a, 8.3.5.d, 8.4.1**, las cuales básicamente hablan sobre la necesidad de establecer características tanto de entradas como de salidas de productos para crear un proceso que de conformidad a los productos o servicios efectuados. El objetivo de caracterizar productos iniciales y finales justamente pretende apoyar en que la EMPRESA tenga parámetros medibles y establecidos que proporcionen un estándar del cual guiarse para asegurar que siempre está recibiendo la misma materia prima al proceso, y está generando productos con determinadas características también.

El segundo objetivo, el cual consiste en la elaboración de un diagrama de flujo (incluye balance de masa y energía) del proceso, se pretende apoyar en las cláusulas **0.3.1, 0.3.1.d, 4.4.1.b, 4.4.1.c, 4.4.1.g, 4.4.1.h, 8.5.1.d, 8.5.1 g, 10.3**. Estas cláusulas estipulan la importancia de tener información de la interrelación de procesos en un sistema de gestión y cómo esta información impacta en la eficiencia y eficacia de la organización para lograr los resultados esperados, además, la cláusula 8.5.1.g habla sobre la importancia de reducir el riesgo de error humano en diseño de procesos. Con el diagrama y balance elaborados, se busca generar fácilmente esta información de interrelación de subprocesos, pudiendo así analizar y gestionar de mejor manera en el futuro cambios y/o mejoras posibles. Por otro lado, con el dimensionamiento de cada uno de los equipos propuestos se pretende iniciar una estandarización de proceso, el cual pueda ser predictivo en el futuro con equipos diseñados específicamente para la labor que van a desempeñar.

En el análisis de brechas de la ISO 9001:2015 para el proceso propuesto se mostró que no se toma en cuenta la limpieza de los equipos de una manera tan específica en la norma. Siendo el aceite de cardamomo un material tan sensible a la degradación por la luz, el calor o el aire como tal, y además teniendo pequeñas trazas de agua en su interior, el que permanezcan en los equipos restos de aceite luego del proceso de refinamiento es un potencial riesgo de cultivo de microorganismos que puedan contaminar al siguiente batch. Es por esto que, aunque no lo estipule estrictamente la norma, se recomienda programar limpiezas entre procesos sin falta para evitar la contaminación cruzada de los materiales y poner en riesgo así su calidad final. De los remanentes de aceite de cardamomo deriva también la necesidad de cuantificar las pérdidas en el sistema, que, aunque no sean significativas para un proceso de 150 kg, en un futuro si la operación crece, estas se volverán significativas, por lo que es recomendable siempre tomarlas en cuenta en el pesaje inicial y final y llevar hojas de control de los datos obtenidos para poder monitorear que las pérdidas no aumenten en determinado momento o por determinada acción.

Finalmente, respecto a las hojas de control sugeridas en la sección de Anexos > Fichas técnicas de equipos y hojas de PCC, específicamente la que se muestra en el Cuadro 40, la cual es una hoja de control específicamente diseñada para los puntos de control críticos del proceso

IX. CONCLUSIONES

- Se determinó que las características fisicoquímicas del aceite antes y después del proceso de refinamiento no tienen cambios significativos, como puede verse en los Cuadros 3 y 4. Sin embargo, la tendencia de disminución y aumento de los diferentes parámetros confirma que se ocasiona una oxidación del aceite al entrar en contacto con aire, la cual es requerida en pequeña medida para darle el refinamiento organoléptico necesario para su distribución. El parámetro de índice de peróxidos resultó ser el más determinante al momento de reflejar un cambio durante el proceso de aireado. Es justamente el que refleja la oxidación del aceite y puede ser un buen parámetro para estandarizar el proceso en futuros análisis.
- Se estudió cada etapa involucrada en el proceso, las cuales se pudieron justificar para su propósito, siendo la refrigeración necesaria para la conservación del aceite esencial, el decantado necesario para la eliminación de trazas de agua remanentes del proceso de extracción de aceite y el aireado necesario como un tratamiento organoléptico a través de una oxidación para establecer el olor final de venta del producto. Con base en ello, el dimensionamiento del proceso se realizó de forma satisfactoria, sin embargo, los volúmenes trabajados en el periodo de tiempo establecido no permiten que se puedan seguir correctamente muchas directrices de diseño de plantas, por lo que se deben usar suposiciones y reglas gruesas para dimensionar equipos con capacidades muy bajas. A pesar de ello, fue posible construir el diagrama de flujo del proceso productivo, como se puede observar en RESULTADOS > DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO y los diagramas de distribución de equipo mostrados en ANEXOS > DIAGRAMAS DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS.
- La Normativa Internacional ISO 9001:2015, la cual es una normativa genérica para Sistemas de Gestión de Calidad (SGC), necesita un acompañamiento estrecho del diseño y especificaciones del proceso productivo que esté auditando, pues contiene cláusulas²⁷ en las cuales se especifica la importancia de interrelacionar procesos, pensamiento basado en procesos y la disminución de error humano, lo cual se soluciona con la industrialización del proceso actual, como inicio para la parametrización posterior de procesos.

²⁷ Las cláusulas se detallan en la sección Resultados > Evaluación de propuesta de proceso según ISO 9001:2015.

X. RECOMENDACIONES

- Debido a que la oxidación es necesaria para el ajuste organoléptico del producto final, se recomienda profundizar en una cinética de reacción, la cual ayudaría a entender de mejor manera y controlar correctamente el ajuste organoléptico. Con un modelo que pueda predecir la cantidad de aire a suministrar, se podrían reducir los tiempos de aireado obteniendo al mismo tiempo un producto final uniforme.
- Por motivos de espacio, se recomienda separar el área de refinamiento del área de producto final para tener una mayor área de operación y manipulación de toneles y toma de muestras sin riesgo de atrapamiento o daño físico.
- Ya que el producto que se trabaja en la empresa es sensible a cambios físicos y químicos con factores tales como luz, calor y aire, y tomando en cuenta que puede contener pequeñas trazas de agua mezclada, se recomienda programar sesiones de limpieza en todos los equipos involucrados en el proceso luego de cada proceso de refinamiento para prevenir el crecimiento de bacterias y microorganismos, los cuales el aire, agua y el ambiente en general promueven su crecimiento. La implementación de una hoja de control donde se evidencie la limpieza realizada, con la fecha y hora exacta permitirá mejorar el control del proceso.
- Se recomienda abastecerse de equipo y cristalería descrita en la Metodología de este trabajo para poder hacer las pruebas de los parámetros analizados, los cuales son un indicador consistente del estado de oxidación del aceite a refinar. En especial hacer la prueba de Índice de peróxidos, ya que, como se comprobó en los resultados, muestra un cambio significativo al momento de aireado.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AceiteDeLasValdesas. (2023). *¿Cuál es la densidad del aceite?*
- AEMPS. (2016). Guía sobre aceites esenciales en productos cosméticos. *Comité para la protección de la Salud de los Consumidores*.
- AGEXPORT. (2022). Comité de cardamomo. Guatemala.
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis* (15th Edition ed., Vol. 1). Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- AOCS. (2020). *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS* (Vol. 7th edition).
- Doterra. (2023). *Quality testing - Organoleptic testing*. Obtenido de <https://www.doterra.com/US/en/essential-oil-production-organoleptic-testing>
- EEE. (2023). Guía de implementación para la ISO 9001.
- EssentialOleum. (2023). *Guía de verificación de calidad de aceites esenciales*. Obtenido de <https://essentialoleum.com/aromaterapia/verificacion-de-la-calidad-y-la-pureza-de-los-aceites-esenciales/>
- ExoticNat. (2020). Obtenido de <https://exotiknat.com/product/exotik-aceite-esencial-cardamomo-12ml/#:~:text=El%20aceite%20esencial%20de%20cardamomo,la%20salud%20de%20diversas%20maneras.>
- Fongang, Y., & Bankeu, J. (2020). Terpenoids as Important Bioactive Constituents of Essential Oils. *Intech Open*.
- FoodLab. (30 de Marzo de 2023). *Nuevo método para determinar el índice de yodo en aceites y grasas*. Obtenido de <https://www.cdrfoodlab.es/cdrfoodlab/mas-informacion/nuevo-metodo-indice-yodo-aceites-grasas>
- Fundación Universidad-Empresa de las Islas Baleares MP. (2011). *Procedimiento para evitar la cristalización total o parcial del aceite de oliva durante su conservación a bajas temperaturas*. Obtenido de <https://fueib.org/es/investigadores/65/otri/catalogo/1/13/patente/procedimiento-para-evitar-la-cristalizacion-total-o-parcial-del-aceite-de-oliva-durante-su-conservacion>
- Fundación_CANNA. (2023). *Los Terpenos*. Obtenido de <https://www.fundacion-canna.es/los-terpenos/#:~:text=Los%20terpenos%20son%20los%20metabolitos,producido%20por%20las%20plantas%20arom%C3%A1ticas.>
- Gil Pavas, E., & Sáez Vega, A. (2000). Obtención de aceite esencial de cardamomo. *Universidad EAFIT*.
- González Támara, L. (2018). *Análisis exploratorio de datos: Una introducción a la estadística descriptiva y probabilidad*. Tadeo Lozano.

- Govindarajan, V. S., Narasimhan, S., Raghuvver, K. G., & Lewis, Y. S. (1986). Cardamom: Production, Technology, Chemistry and Quality. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 16(3), 229-326.
- Hanna Instruments. (2023). *Determinación de índice de peróxidos*. Obtenido de <https://www.hannainst.es/blog/116/determinacion-del-indice-de-peroxidos>
- Harris, D. (2007). *Análisis químico cuantitativo*. Editorial Reverté.
- Harrison, R., Todd, P., Rudge, S., & Petrides, D. (2003). *Bioseparations Science and Engineering*. New York: Oxford University Press.
- Intelligence, M. (2023). *Mercado de Cardamomo: Crecimiento, tendencias, impacto de COVID-19 y pronósticos (2023-2028)*. Obtenido de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/cardamom-market>
- Intranox. (2022). *Intranox S.A.* Obtenido de <https://www.intranox.com/tanques-de-almacenamiento/tanque-decantador#:~:text=Qu%C3%A9%20es%20un%20Tanque%20Decantador,la%20fuerza%20de%20la%20gravedad.>
- InventtoGroup. (2023). Obtenido de <https://inventtogroup.com/blogs/inventto-group/como-elegir-un-refrigerador-industrial>
- ISO. (2015). *Quality Management Systems - Requirements ISO 9001:2015*. Switzerland.
- ISO. (2023). *ISO/TC 176/SC 2: Documents*. Obtenido de https://www.iso.org/committee/53896.html?t=kEIf8Ra_jTmCDLWo7ku57UZUvu942m754FkDGe8wsE5qAT-fBKpIHM9ANkCXo5Me&view=documents#section-isodocuments-top
- Majekodunmi, S. (2015). Review on Centrifugation in the Pharmaceutical Industry. *American Journal of Biomedical Engineering*, 5(2), 67-78.
- Manrique, G. (2015). Caracterización de grasas y aceites. *Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires*.
- McCabe, W., Smith, J., & Harriot, P. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, Séptima Edición*. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana.
- Mettler Toledo. (2023). *Índice de refracción de grasas y aceites comestibles - AOAC 921.08*. Obtenido de <https://www.mt.com/mx/es/home/library/applications/lab-analytical-instruments/refractive-index-of-oils-and-fats-aoac-92108.html>
- Mima. (2023). *El índice de yodo para comprobar la pureza e identidad de las grasas*. Obtenido de <https://www.productosmima.com/indice-de-yodo/>
- Nabor, A. (2022). Qué es el cardamomo y cuales son sus beneficios. *El Universal*.

- Ruiz, A. (2023). Normalización de los aceites esenciales. *ChromEssence: Essential Oil & Fragrance Support*.
- SEMARNAP. (1995). *Programa para la minimización y manejo de residuos industriales peligrosos en México 1996-2000*.
- SGS. (2023). *ISO 9001:2015 - Sistemas de gestión de la calidad - Curso de formación de auditores y auditores jefe*. Obtenido de <https://www.sgs.com/es-gt/services/iso-9001-2015-sistemas-de-gestion-de-la-calidad-curso-de-formacion-de-auditores-y-auditores-jefe>
- Skoog, D., West, D., Holler, F., & Crouch, S. (2015). *Fundamentos de química analítica, Novena Edición*. México D.F.: Cengage Learning Editores.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2007). *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Tisserand, R., & Young, R. (2014). *Essential Oil Safety: A Guide for Health Care Professionals*. Churchill Livingstone Elsevier.
- Towler, G., & Sinnott, R. (2008). *Chemical Engineering Design: Principles, practice and economics of plant and process design*. London: Elsevier.
- Treybal, R. (1988). *Operaciones de Transferencia de Masa, Segunda Edición*. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- Villeda, M. (2015). *Obtención de aceite esencial de cardamomo (Elletaria cardamomum L.) mediante la tecnología de Fluidos Supercríticos y microencapsulación por Spray-Dryer*. Medellín, Colombia.
- Villeda, M., Millán, L., Peláez, C., Arroyave, C., González, M., & Gil, M. (2017). Caracterización del aceite microencapsulado de cardamomo (*Elettaria cardamomum*) extraído por fluidos supercríticos a escala semi-industrial. *Brazilian Journal Food Technology*.
- Walas, S. (1990). *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. University of Kansas.

XII. ANEXOS

A. DATOS ORIGINALES

Cuadro 13: Datos iniciales de refrigeración

Masa inicial (± 0.05 kg)	T inicial (± 0.05 °C)	T final (± 0.05 °C)
60	22	4

Cuadro 14: Dimensiones de un tonel de aireamiento actual

Diámetro (± 0.01 m)	Altura (± 0.01 m)
0.495	0.535

Cuadro 15: Características del sistema de burbujeo actual

Potencia de bomba (W)	Velocidad lineal (m/s)	D boquilla (m)
300	2.0	0.005
100	1.1	0.005

Cuadro 16: Características iniciales de los procesos de refinamiento estudiados

Muestra	Agua separada (g)	Tiempo de aireado (h)
1	10	113.83
2	12	72.25
3	2	113.9

Cuadro 17: Datos para el cálculo del decantador

Masa de aceite (kg)	Densidad (kg/m³)
150	925

Cuadro 18: Áreas de cromatograma de aceite de cardamomo, proceso 1

Proceso 1	INGRESO			FINAL
	1	2	3	
Sabineno	4.83	4.83	4.77	4.57
Myrceno	2.31	2.31	2.27	2.22
Limoneno	2.51	2.52	2.49	2.45
Eucaliptol	30.63	30.63	30.56	30.09
Terpineol	40.33	40.28	40.45	41.05
Geranial	1.78	1.78	1.77	1.8

Cuadro 19: Áreas de cromatograma de aceite de cardamomo, proceso 2

Proceso 2	INGRESO			FINAL
	1	2	3	
Sabineno	4.69	4.7	4.68	4.57
Myrceno	2.26	2.26	2.24	2.21
Limoneno	2.26	2.66	2.66	2.63
Eucaliptol	33.58	33.59	33.57	33.4
Terpineol	38.02	37.99	37.96	38.37
Geranial	1.74	1.74	1.74	1.74

Cuadro 20: Áreas de cromatograma de aceite de cardamomo, proceso 3

Proceso 3	INGRESO			FINAL
	1	2	3	
Sabineno	4.79	4.78	4.69	4.56
Myrceno	2.23	2.23	2.18	2.15
Limoneno	2.68	2.67	2.64	2.62
Eucaliptol	34.64	34.62	34.11	34.18
Terpineol	37.2	37.24	37.88	37.99
Geranial	1.69	1.69	1.68	1.71

Cuadro 21: Áreas de cromatograma de aceite de cardamomo, proceso 4

Proceso 4	INGRESO			FINAL
	1	2	3	
Sabineno	5.18	5.11	5.26	5.01
Myrceno	2.53	2.48	2.55	2.46
Limoneno	2.65	2.68	2.76	2.69
Eucaliptol	30.68	31.69	32.04	31.59
Terpineol	39.34	38.39	37.74	39.09
Geranial	2.44	2.44	2.46	2.29

Cuadro 22: Áreas de cromatograma de aceite de cardamomo, proceso 5

Proceso 5	INGRESO			FINAL
	1	2	3	
Sabineno	4.71	4.66	4.63	4.62
Myrceno	2.25	2.2	2.2	2.19
Limoneno	2.54	2.44	2.47	2.46
Eucaliptol	31.72	30.34	30.72	30.37
Terpineol	39.61	39.85	39.65	40.47
Geranial	1.95	1.94	1.95	1.88

B. CÁLCULOS DE MUESTRA

Cálculo 1: Determinación de la carga frigorífica a extraer de la mezcla aceite-agua.

$$q \text{ (kJ)} = m_x C p_x \Delta T$$

... donde m_x es la masa del material a refrigerar, $C p_x$ es el calor específico del material y ΔT es la diferencia entre la temperatura inicial del material y la temperatura objetivo de refrigeración.

Cálculo 2: Determinación del Cp ponderado de la mezcla (mx) aceite-agua.

$$C p_{mx} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} \right) = C p_{AC} * x_{AC} + C p_{H2O} * x_{H2O}$$

... donde $C p_{AC}$ y $C p_{H2O}$ son los calores específicos de los componentes de la mezcla en kJ/kg*K y x_{AC} y x_{H2O} son las fracciones másicas de los componentes de la mezcla en kg/kg total.

Cálculo 3: Determinación de la potencia requerida para el refrigerador.

$$P \left(\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \text{ o } \text{kW} \right) = \frac{q}{t}$$

... donde q es la carga frigorífica (calor a extraer del material) y t es el tiempo de refrigeración para alcanzar la temperatura objetivo.

Cálculo 4: Determinación del volumen de un tonel.

$$V_1 (\text{m}^3) = m_{AC} \rho_{AC}$$

... donde m_{AC} es la masa de líquido del tonel y ρ_{AC} es la densidad del material.

Cálculo 5: Escalamiento del volumen del decantador manteniendo el flux constante.

$$V_2 (\text{m}^3) = 1.20 V_1 \left(\frac{m_2}{m_1} \right)^{\frac{1}{3}}$$

... donde m_1 es la masa contenida en el decantador actual en kg, V_1 es el volumen del tanque, en m^3 , donde actualmente se realiza el proceso de aireamiento, m_2 es la masa que contendrá el decantador escalado en kg. El factor 1.20 representa un 20% adicional de volumen al decantador para prevenir rebalses.

Calculo 6: Determinación de las dimensiones del decantador.

$$V_{\text{decantador}} (\text{m}^3) = V = \frac{\pi}{4} d^2 h$$

... como la altura se tomará como $h = 2d$, entonces:

$$V_{\text{decantador}}(m^3) = V = \frac{\pi}{2} d^3$$

$$\emptyset \text{ o } d (m) = \sqrt[3]{\frac{2V_2}{\pi}}$$

...donde V_2 es el volumen calculado en el Cálculo 5.

Cálculo 7: Determinación del área transversal de un cilindro.

$$A (m^2) = \frac{\pi d^2}{4}$$

...dónde d es el diámetro en m. Este cálculo es aplicado para tanques, tuberías y mangueras.

Cálculo 8: Determinación del caudal de aire suministrado por el sistema de aireado actual.

$$\dot{Q} \left(\frac{m^3}{s} \right) = A * v$$

... donde A es el área transversal de una tubería determinada en el Cálculo 7 y v es la velocidad lineal en m/s determinada con un anemómetro.

Cálculo 9: Determinación del volumen de aire para el proceso de aireado de aceite actual

$$V_{\text{aire}}(m^3) = \dot{Q}_{\text{aire}} * t$$

... donde \dot{Q}_{aire} es el caudal de aire, en m^3/s , suministrado por el sistema de aire actual y t es el tiempo de aireado en s. Este cálculo se realizó en triplicado para cada uno de los tres procesos en los cuales se cuantificó el aire suministrado.

Cálculo 10: Determinación del caudal promedio del sistema de aireado actual.

$$\dot{Q}(m^3/s) = \frac{\sum V_{\text{aire}}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_1}$$

... donde el volumen es dado en m^3 y el tiempo es dado en s.

Cálculo 11: Determinación del caudal de aire necesario para el decantador escalado.

$$\dot{Q}_2(m^3) = A_2 \left(\frac{\dot{Q}_1}{A_1} \right)$$

... donde \dot{Q}_1 es el caudal de aire actual, determinado en el Cálculo 10 y A_1 es el área transversal del tanque de burbujeo actual, área que puede determinarse con el Cálculo 7 y los datos del Cuadro 13, en Datos Originales.

Cálculo 12: Determinación del caudal de aire corregido según el caudal estándar (0°C, 1 atm).

$$q_0 \left(\frac{m^3}{s} \right) = \dot{Q}_{aire} * \left(\frac{273 K}{298 K} \right) * \left(\frac{101.6 kPa}{101.3 kPa} \right)$$

Este cálculo es necesario hacerlo debido a que la ecuación utilizada (Cálculo 13), extraída de (McCabe, Smith, & Harriot, 2007), requiere un caudal estándar.

Cálculo 13: Determinación de la potencia requerida en un compresor adiabático.

$$P_B (kW) = \frac{0.371 T_a q_0 \gamma}{(\gamma - 1) \eta} \left[\left(\frac{p_b}{p_a} \right)^{1 - \frac{1}{\gamma}} - 1 \right]$$

... donde T_a es la temperatura inicial en K, q_0 es el caudal de aire estándar, γ es la relación C_p/C_v del aire (1.4), η es la eficiencia del compresor, p_a es la presión inicial del aire al ingresar al compresor y p_b es la presión de salida. Se asumió un incremento de presión del 10% respecto a la presión inicial. Para la conversión de kW a hp se divide el valor dentro de 1.35.

Cálculo 14: Determinación del flux del sistema de burbujeo.

$$Flux \left(\frac{m^3}{m^2 s} \right) = \frac{\dot{Q}}{A}$$

... donde \dot{Q} es el caudal determinado en el Cálculo 10 o 11 y A es el área transversal determinada en el Cálculo 7.

Cálculo 15: Determinación de la velocidad lineal de salida del aire en el compresor.

$$v \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{\dot{Q}_2}{A_p}$$

... donde A_p es el área transversal de la tubería a utilizar. Se pueden escoger la tubería que se adapte al equipo, o utilizar un expansor o para obtener la velocidad requerida. El área transversal interna de las tuberías fue extraída de la Figura 9, en la sección *Dimensionamiento de equipo y tuberías*. Mientras que \dot{Q}_2 es el caudal determinado en el Cálculo 11.

Cálculo 16: Determinación del área necesaria de contacto aire-aceite.

$$A (m^2) = \frac{\dot{Q}_2}{v}$$

... donde \dot{Q}_2 es el caudal de aire en m^3/s y v es la velocidad lineal del aire en m/s, determinada en el Cálculo 15.

Cálculo 17: Determinación del diámetro de agujero para el burbujeador (el mismo que el diámetro de burbuja deseado)

$$d_p(m) = \sqrt{\frac{4 \left(\frac{A}{n}\right)}{\pi}}$$

... donde A/n es el área unitaria de contacto aire-aceite, siendo n el número fijado de agujeros del burbujeador y A el área de contacto determinada en el Cálculo 16.

Cálculo 18: Determinación del diámetro del burbujeador en función del área superficial real para de la tubería a utilizar.

$$d^2 + 2hd - 3\frac{2A}{\pi} = 0$$

Es una ecuación cuadrática, donde d es la variable por determinar, h se refiere al 80% del diámetro del tanque donde el burbujeador se introducirá (Cálculo 6), y A es el área determinada en el Cálculo de muestra 16 multiplicada por 3 ya que el área superficial total del burbujeador debe ser tres veces más grande que el área de contacto aire-aceite, y debe haber al menos $3d_p$ entre cada agujero, según (Treybal, 1988).

Cálculo 19: Determinación de la potencia de una bomba centrífuga cuando se bombearán líquidos.

$$P = \frac{\dot{V}\Delta p}{1714 \eta}$$

... donde \dot{V} es el caudal de fluido a transportar, Δp es el diferencial de presión que se creará entre la presión inicial del fluido y con la cual saldrá y η es la eficiencia de la bomba centrífuga.

Cálculo 20: Determinación del caudal a bombear para la selección de una bomba centrífuga.

$$\dot{Q}_p = \frac{m/\rho_{AC}}{t}$$

...donde m es la masa total de aceite a bombear, ρ_{AC} es la densidad del aceite de cardamomo y t es el tiempo de descarga establecido.

C. DATOS CALCULADOS

Cuadro 23: Cálculo de la carga frigorífica del refrigerador

Masa de aceite (kg)	Cp aceite (kJ/kg*°C)	ΔT (°C)	Tiempo propuesto (s)	q (kJ)	P (kW)
60	5.93	18	14,400	-6,404.40	-0.44

Los datos de esta tabla fueron calculados como se muestra en los Cálculos de muestra 1 y 3. El Cp se tomó como una sustancia pura ya que el porcentaje de agua promedio fue de 0.03% m/m.

Cuadro 24: Determinación del caudal utilizado en los procesos de burbujeo de aceite actuales

Potencia de bomba (W)	Velocidad lineal (m/s)	Área boquilla (m ²)	Caudal (m ³ /h)
300	2.0	0.000079	0.565
100	1.1	0.000079	0.311

Los datos de velocidad lineal fueron medidos con un anemómetro de turbina, mientras que el área de la boquilla de la manguera con un vernier.

Cuadro 25: Determinación del volumen de aire utilizado en el proceso de burbujeo de aceite

Muestra	Caudal (m ³ /h)	Tiempo de aireado (h)	Volumen de aire (m ³)
1	0.565	113.83	228.51
2	0.311	72.25	163.43
3	0.565	113.9	193.23

Cuadro 26: Caudal actual promedio

Tiempo de aireado promedio (h)	Desviación estándar	Volumen de aire promedio (m ³)	Desviación estándar	Caudal (m ³ /s)
99.99	24.03	195.05	32.58	0.0006 ± 0.0224

Cuadro 27: Determinación de la velocidad lineal del aire del compresor

Diámetro de tubería (m)	Diámetro interior (m)	Área interna (m ²)	q ₀ (m ³ /s)	Velocidad lineal (m/s)
0.0508	0.0525	0.00216	0.0635	25

Cuadro 28: Cálculo del compresor adiabático

Muestra	Tiempo propuesto (h)	Caudal propuesto (m ³ /s)	Potencia (kW)
1	2	0.0317	0.417
2	2	0.0227	0.298
3	2	0.0268	0.353

La potencia en kW puede expresarse también como caballos de fuerza (hp), cuyos valores en kW se dividen dentro de 1.35, dando como resultados: 0.31, 0.22 y 0.26, respectivamente.

Cuadro 29: Selección del diámetro de tubería para el compresor, según la velocidad lineal del aire.

Diámetro nominal (m)	Área interna (m)	Velocidad lineal (m/s)
0.0508	0.00216	0.269

Cuadro 30: Selección de características del burbujeador

Caudal (m³/s)	Velocidad lineal (m/s)	Área de contacto (m²)	No. de agujeros	Diámetro de agujero (m)	Longitud (m)	Diámetro (m)
0.0006	0.269	0.00216	200	0.0040	0.41	0.005

El área de contacto es entre el aceite y el aire. La longitud y diámetro se refieren a la tubería horizontal que servirá como burbujeador.

Cuadro 31: Selección de la potencia de las bombas centrífugas

Volumen para bombear (m³)	Tiempo de descarga (min)	Caudal estimado (m³/h)	Flujo másico (kg/min)
0.0389	10	0.97	15

Se utilizó una densidad de 925 kg/m³ para pasar la masa del Cuadro 16 en Datos Originales, la cual fue dada por la EMPRESA. La potencia de la bomba se determinó según catálogos de bombas, los cuales expresan su caudal máximo. Las bombas de 1/5 hp tienen una capacidad máxima promedio de 2-3 m³/h, lo cual permite tener capacidad sobrante.

Cuadro 32: Cálculo del tanque de decantación

Volumen de aceite (m³)	Cabeza extra (%)	Volumen final (m³)	Diámetro (m)	Altura (m)
0.0389	20	0.0467	0.310	0.620

Se tomó la altura del decantador como 2 veces el diámetro determinado mediante el Cálculo de muestra 14.

Cuadro 33: Concentración inicial promedio de los compuestos del aceite de cardamomo determinados por cromatografía de gases

Compuesto	Concentración promedio	Desviación estándar
Sabineno	4.82	0.21
Myrceno	2.30	0.13
Limoneno	2.58	0.10
Eucaliptol	32.21	1.71
Terpineol	38.80	1.21
Geranial	1.92	0.31

*Cuadro 34: Concentración final promedio de los compuestos del aceite de cardamomo
determinados por cromatografía de gases*

Compuesto	Concentración promedio	Desviación estándar
Sabineno	4.67	0.19
Myrceno	2.25	0.12
Limoneno	2.57	0.11
Eucaliptol	31.93	1.81
Terpineol	39.39	1.32
Geranial	1.88	0.24

D. CROMATOGRAMAS

Figura 14: Cromatograma de proceso 1.1 (Aceite de cardamomo no refinado)

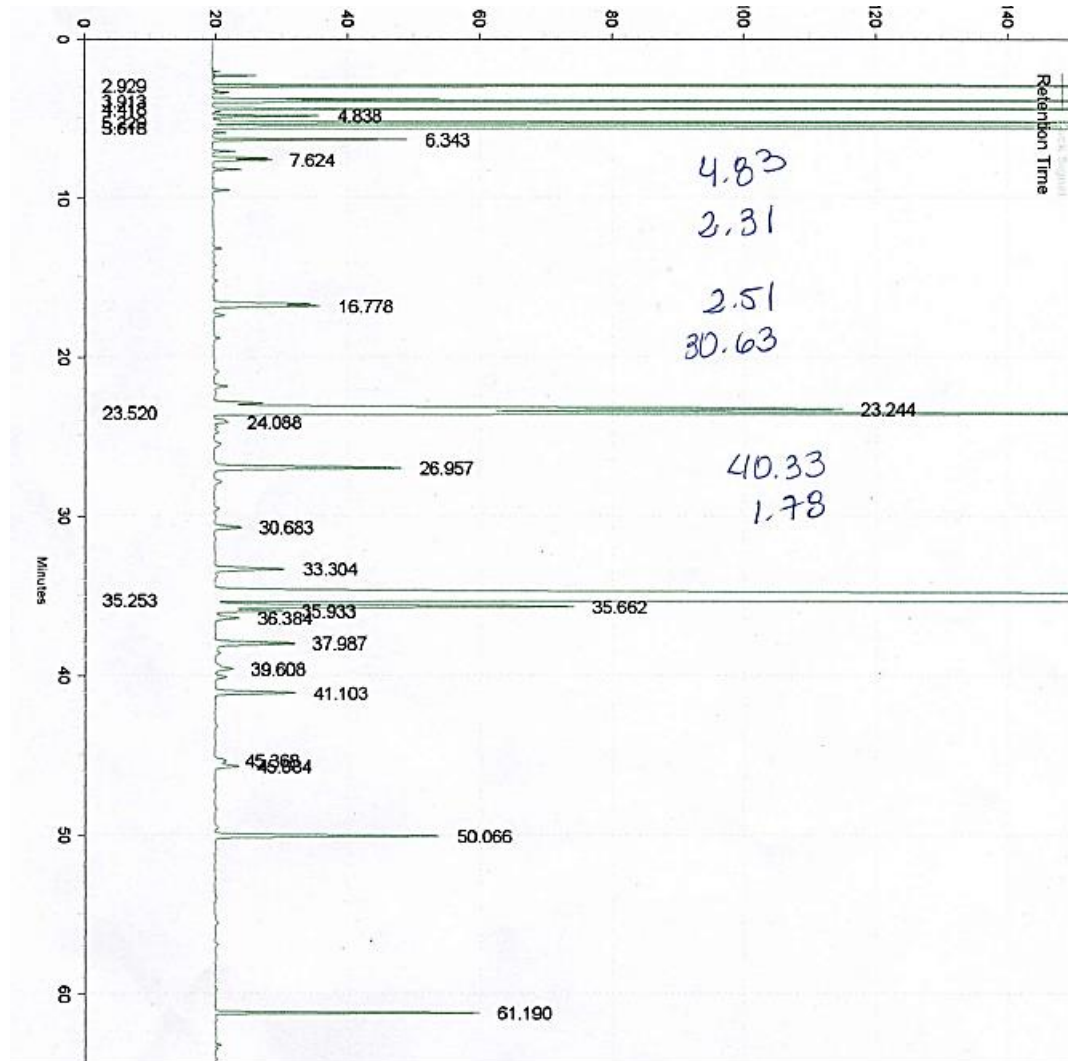


Figura 15: Tabla de valores de cromatograma de proceso 1.1

Back Signal					
Results					
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %	
2.929	4339721	1.85	1701951	5.60	
3.913	11332394	4.83	3157987	10.38	
4.418	5425056	2.31	1449087	4.76	
4.838	537344	0.23	124392	0.41	
5.229	5905871	2.51	1210496	3.98	
5.618	71939768	30.63	14498452	47.67	
6.343	1190494	0.51	226362	0.74	
7.624	703841	0.30	68878	0.23	
16.778	1901871	0.81	124559	0.41	
23.244	8873643	3.78	731930	2.41	
23.520	11428556	4.87	1235226	4.06	
24.088	249735	0.11	17279	0.06	
26.957	2134991	0.91	217844	0.72	
30.683	349428	0.15	31244	0.10	
33.304	949294	0.40	81426	0.27	
35.253	94727113	40.33	4180830	13.75	
35.662	4171845	1.78	418175	1.37	
35.933	765451	0.33	79395	0.26	
36.384	352470	0.15	28204	0.09	
37.987	1053415	0.45	92347	0.30	
39.608	349078	0.15	21193	0.07	
41.103	1087099	0.46	93730	0.31	
45.368	213051	0.09	14190	0.05	
45.684	362095	0.15	27897	0.09	
50.066	2402122	1.02	261162	0.86	
61.190	1820512	0.78	307572	1.01	
70.964	299289	0.13	10930	0.04	
Totals	234865547	100.00	30412738	100.00	

Figura 16: Cromatograma de proceso 1.2 (Aceite de cardamomo no refinado)

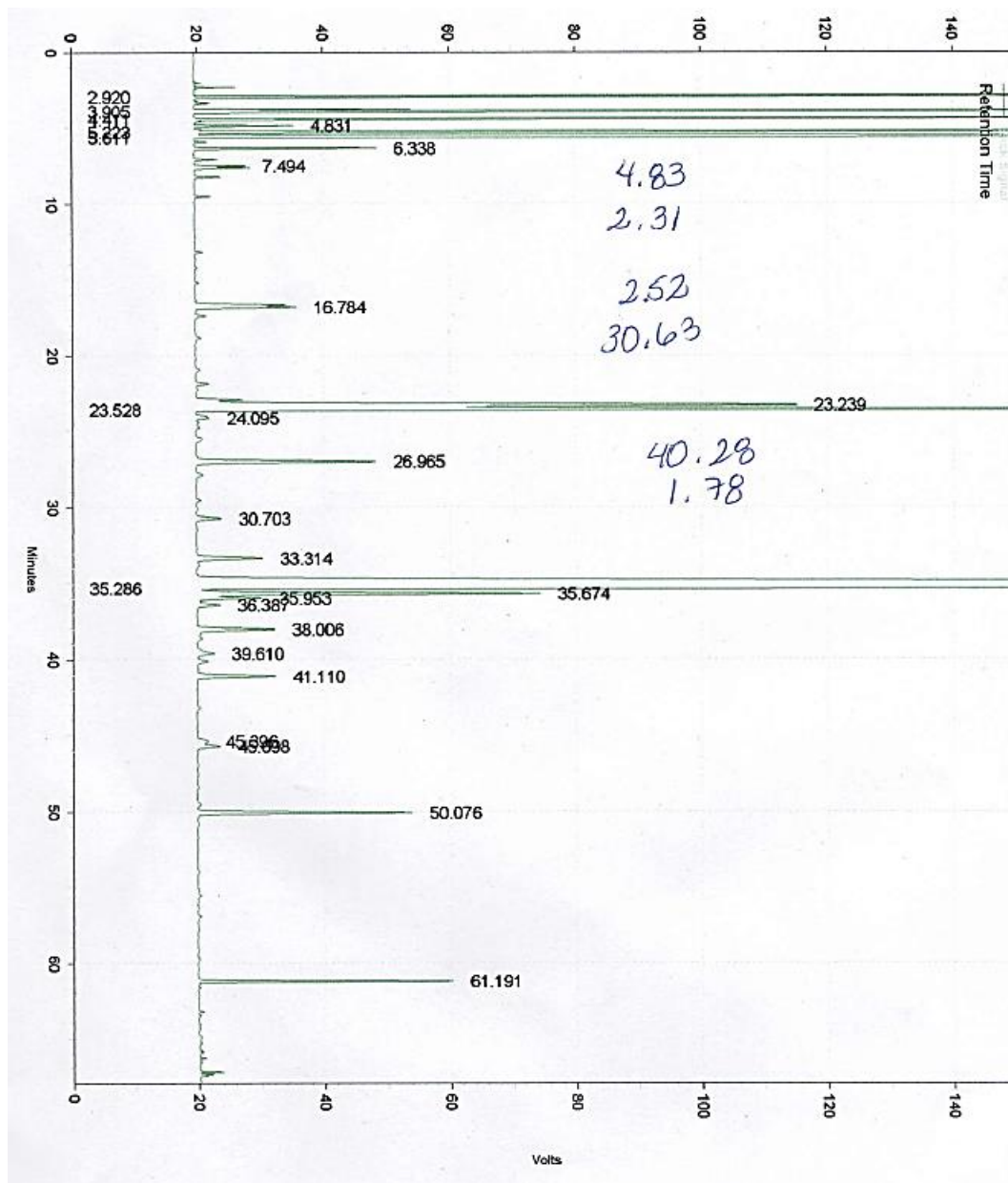


Figura 17: Tabla de valores de cromatograma de proceso 1.2

Back Signal Results					
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %	
2.920	4379439	1.85	1700757	5.60	
3.905	11430877	4.83	3150274	10.37	
4.411	5469068	2.31	1436237	4.73	
4.831	534465	0.23	121903	0.40	
5.223	5958354	2.52	1203067	3.96	
5.611	72532947	30.63	14402741	47.40	
6.338	1190618	0.50	222694	0.73	
7.494	706660	0.30	62707	0.21	
16.784	1920803	0.81	124261	0.41	
23.239	8956009	3.78	733832	2.41	
23.528	11497503	4.85	1251149	4.12	
24.095	250914	0.11	17196	0.06	
26.965	2145087	0.91	219599	0.72	
30.703	350352	0.15	31046	0.10	
33.314	1025097	0.43	81163	0.27	
35.286	95385874	40.28	4260384	14.02	
35.674	4210925	1.78	419857	1.38	
35.953	776388	0.33	79976	0.26	
36.387	376436	0.16	29020	0.10	
38.006	1077635	0.46	94953	0.31	
39.610	369334	0.16	21552	0.07	
41.110	1133077	0.48	96296	0.32	
45.396	211688	0.09	14084	0.05	
45.698	365948	0.15	28348	0.09	
50.076	2418599	1.02	262183	0.86	
61.191	1835740	0.78	310628	1.02	
70.981	324796	0.14	11501	0.04	
Totals	236834633	100.00	30387408	100.00	

Figura 18: Cromatograma de proceso 1.3 (Aceite de cardamomo no refinado)

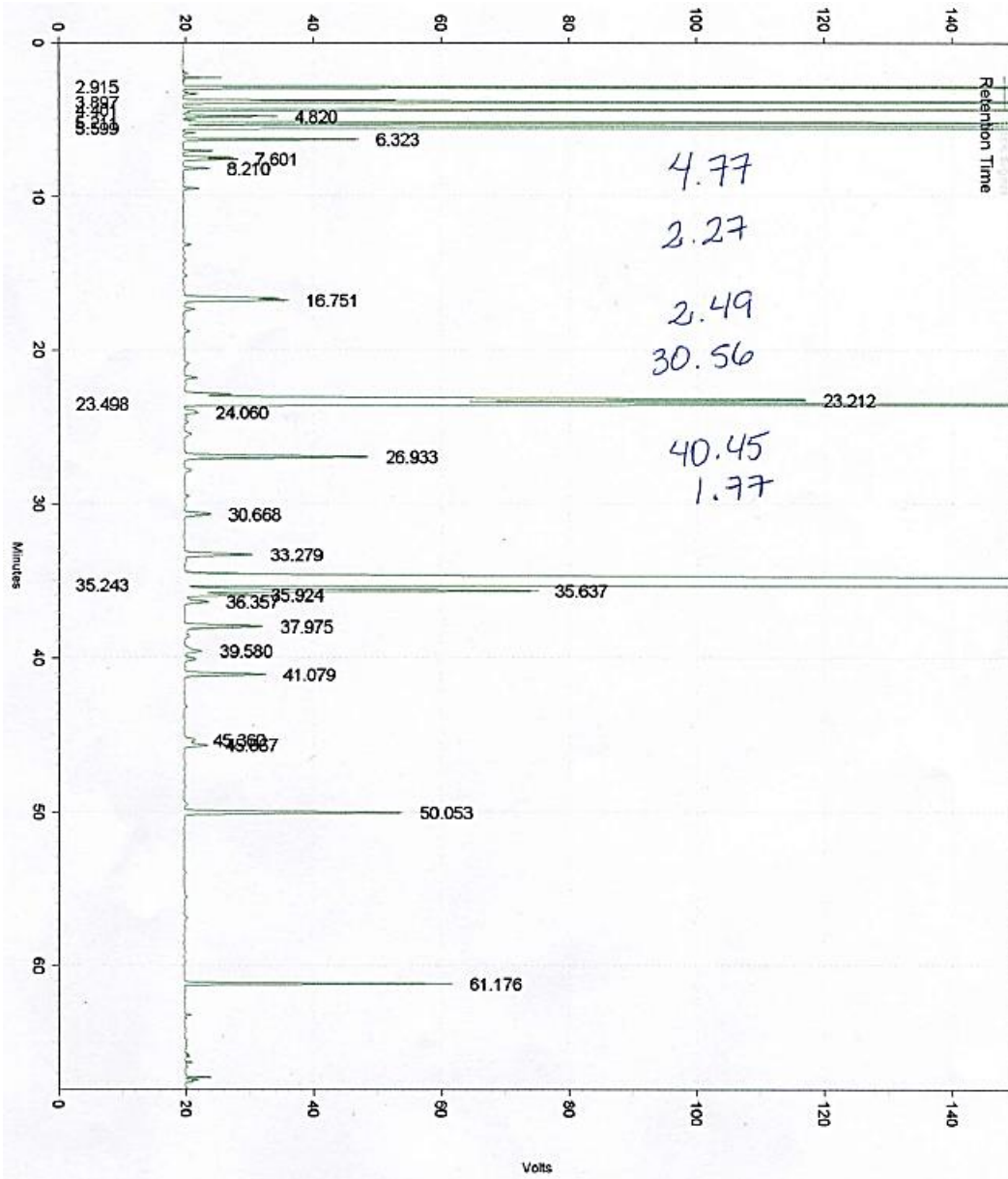


Figura 19: Tabla de valores de cromatograma de proceso 1.3

Back Signal Results					
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %	
2.915	4452383	1.83	1633588	5.36	
3.897	11597514	4.77	3052629	10.02	
4.401	5519298	2.27	1398789	4.59	
4.820	518143	0.21	113225	0.37	
5.211	6062224	2.49	1171306	3.84	
5.599	74268591	30.56	14675302	48.16	
6.323	1173766	0.48	211745	0.69	
7.601	697236	0.29	66122	0.22	
8.210	201474	0.08	32312	0.11	
16.751	1968168	0.81	126459	0.42	
23.212	9122227	3.75	748232	2.46	
23.498	11920149	4.91	1277214	4.19	
24.060	255095	0.10	17321	0.06	
26.933	2188900	0.90	221635	0.73	
30.668	363263	0.15	32347	0.11	
33.279	994812	0.41	82751	0.27	
35.243	98302075	40.45	4216099	13.84	
35.637	4293755	1.77	425323	1.40	
35.924	811106	0.33	83594	0.27	
36.357	386917	0.16	30259	0.10	
37.975	1096242	0.45	95227	0.31	
39.580	379632	0.16	22154	0.07	
41.079	1164302	0.48	98491	0.32	
45.360	212383	0.09	14198	0.05	
45.667	379084	0.16	28802	0.09	
50.053	2454107	1.01	263058	0.86	
61.176	1913112	0.79	322341	1.06	
70.946	314100	0.13	11212	0.04	
Totals	243010058	100.00	30471735	100.00	

Figura 20: Cromatograma de proceso 1 (Aceite de cardamomo refinado)

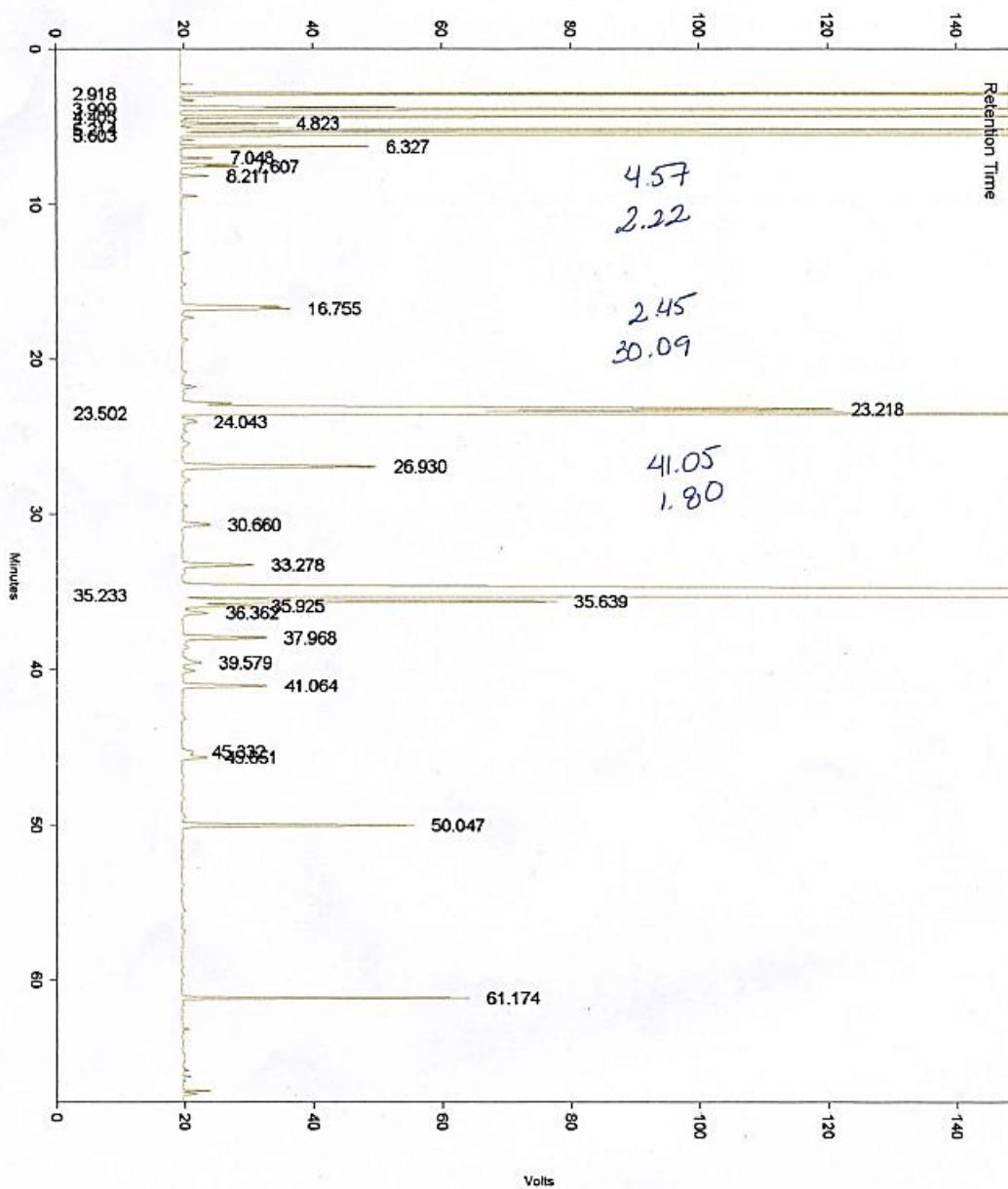


Figura 21: Tabla de valores de cromatograma de proceso 1

Back Signal Results					
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %	
2.918	4180042	1.68	1569466	5.08	
3.900	11412777	4.57	3102866	10.05	
4.405	5545054	2.22	1443128	4.67	
4.823	520485	0.21	117065	0.38	
5.214	6122391	2.45	1218360	3.95	
5.603	75069926	30.09	14745125	47.75	
6.327	1198821	0.48	224825	0.73	
7.048	203972	0.08	38819	0.13	
7.607	716777	0.29	68745	0.22	
8.211	212648	0.09	34350	0.11	
16.755	2043323	0.82	130027	0.42	
23.218	9567445	3.83	777496	2.52	
23.502	12361428	4.95	1328345	4.30	
24.043	265801	0.11	17044	0.06	
26.930	2282395	0.91	231628	0.75	
30.660	376667	0.15	33491	0.11	
33.278	1026306	0.41	85623	0.28	
35.233	102412364	41.05	4250405	13.76	
35.639	4478527	1.80	447095	1.45	
35.925	839384	0.34	85746	0.28	
36.362	399813	0.16	31163	0.10	
37.968	1145047	0.46	100563	0.33	
39.579	389343	0.16	23097	0.07	
41.064	1217084	0.49	101718	0.33	
45.332	230157	0.09	14787	0.05	
45.651	387885	0.16	30101	0.10	
50.047	2565306	1.03	276833	0.90	
61.174	1980127	0.79	342705	1.11	
70.943	327486	0.13	11623	0.04	
Totals	249478781	100.00	30882239	100.00	

Figura 22: Cromatograma de proceso 2.1 (Aceite de cardamomo no refinado)

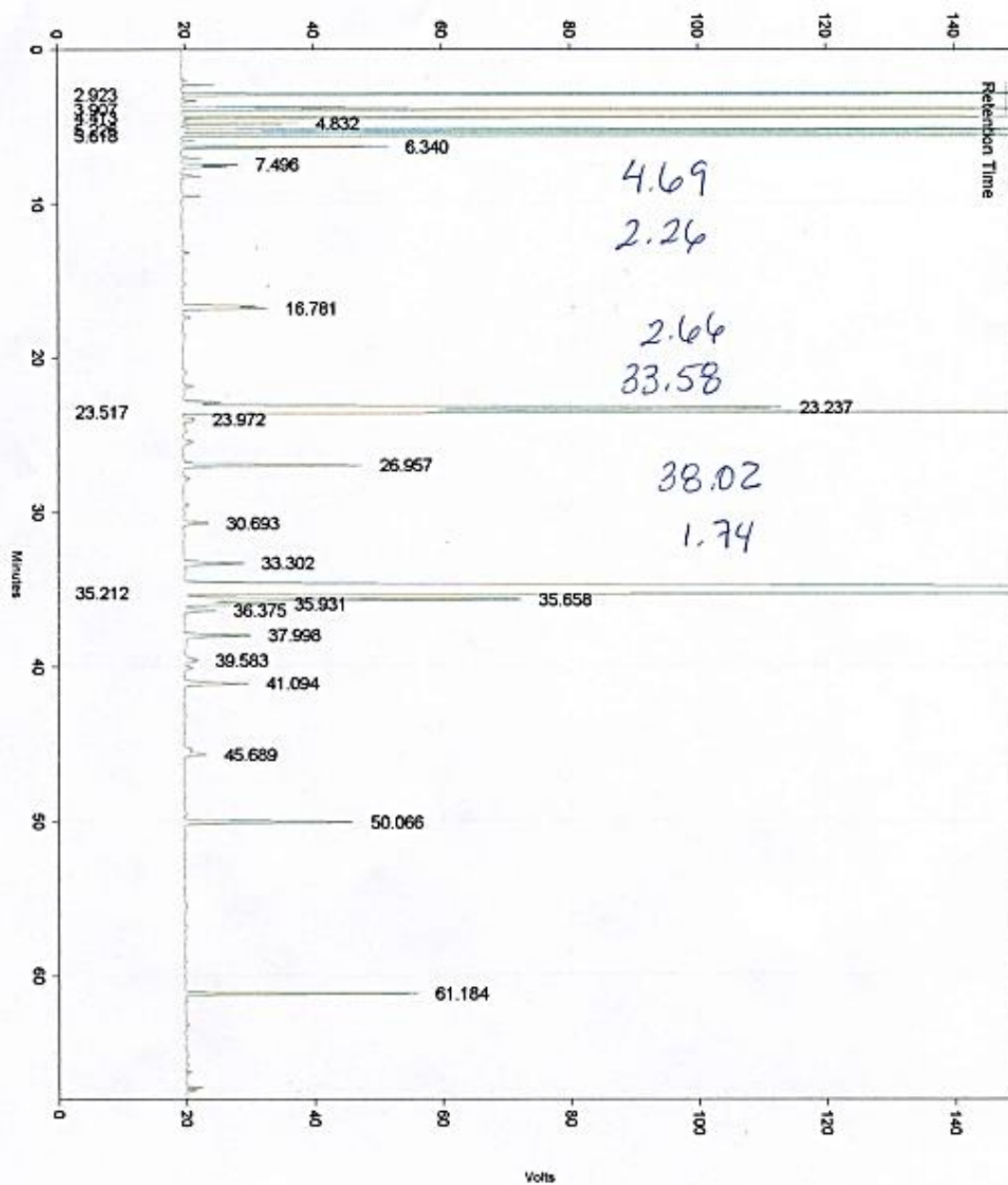


Figura 23:Tabla de valores de cromatograma de proceso 2.1

Back Signal				
Results				
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
2.923	4379657	1.92	1746765	5.77
3.907	10707355	4.69	2995893	9.89
4.413	5151572	2.26	1387248	4.58
4.832	595098	0.26	140152	0.46
5.226	6077282	2.66	1243680	4.11
5.618	76636629	33.58	15043225	49.66
6.340	1265268	0.55	247508	0.82
7.496	643267	0.28	68364	0.23
16.781	1536203	0.67	102659	0.34
23.237	8437319	3.70	718439	2.37
23.517	10612032	4.65	1148490	3.79
23.972	218651	0.10	14369	0.05
26.957	2095248	0.92	214861	0.71
30.693	338888	0.15	30464	0.10
33.302	840452	0.37	72442	0.24
35.212	86771642	38.02	3870978	12.78
35.658	3965940	1.74	404709	1.34
35.931	1075497	0.47	111482	0.37
36.375	458557	0.20	38414	0.13
37.998	920534	0.40	80051	0.26
39.583	294863	0.13	16972	0.06
41.094	903020	0.40	77209	0.25
45.689	492701	0.22	26799	0.09
50.066	1896950	0.83	202328	0.67
61.184	1681964	0.74	278989	0.92
71.043	202049	0.09	10048	0.03
Totals	228198638	100.00	30292538	100.00

Figura 24: Cromatograma de proceso 2.2 (Aceite de cardamomo no refinado)

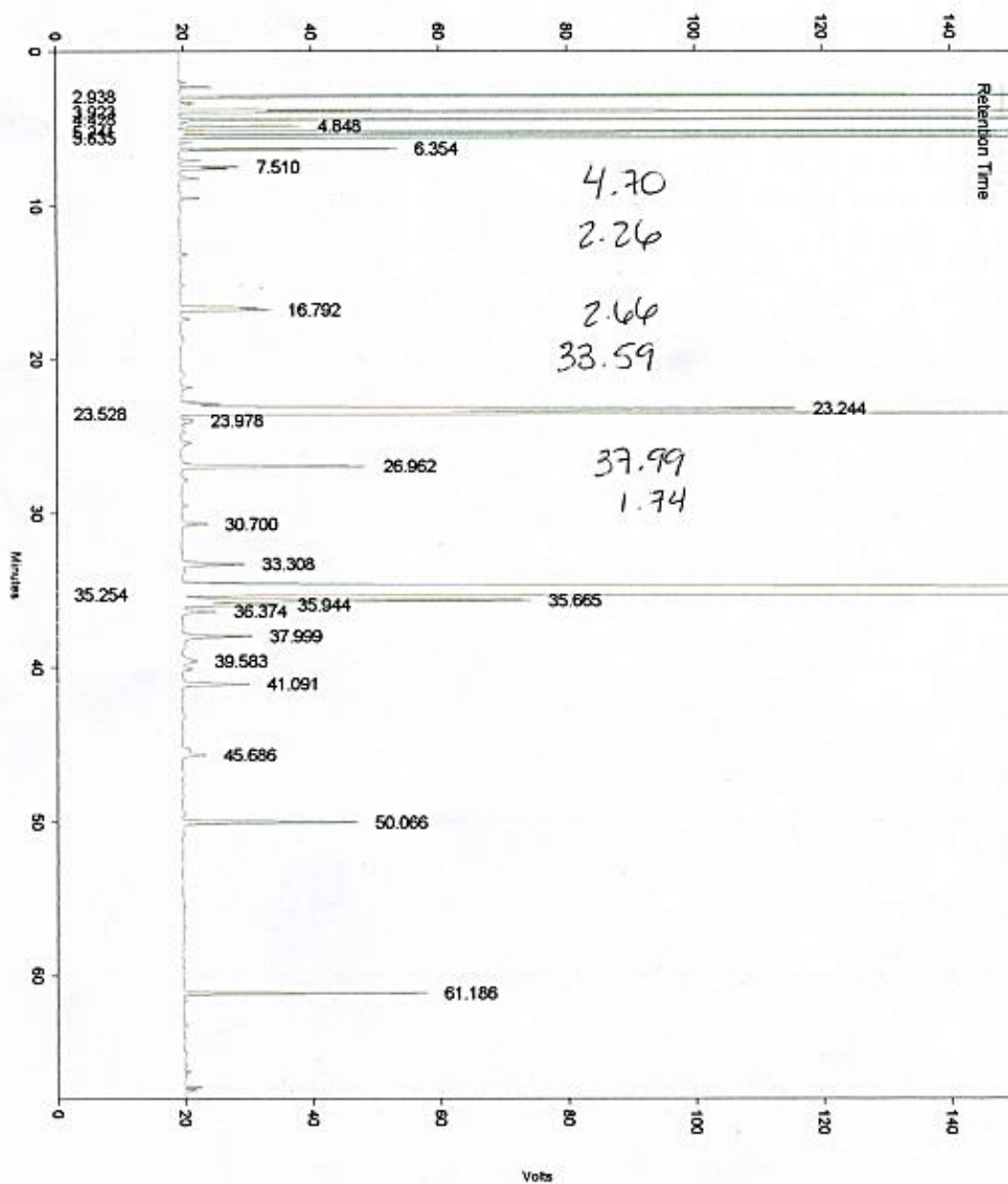


Figura 25: Tabla de valores de cromatograma de proceso 2.2

Back Signal Results				
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
2.938	4600837	1.92	1791085	5.70
3.923	11235887	4.70	3097597	9.85
4.428	5402982	2.26	1436359	4.57
4.848	625163	0.26	145629	0.46
5.241	6368684	2.66	1282500	4.08
5.635	80389640	33.59	15528082	49.39
6.354	1326911	0.55	261705	0.83
7.510	677135	0.28	71877	0.23
16.792	1608675	0.67	108647	0.35
23.244	8833806	3.69	738908	2.35
23.528	11100231	4.64	1206154	3.84
23.978	220424	0.09	14772	0.05
26.962	2179154	0.91	221898	0.71
30.700	356155	0.15	31806	0.10
33.308	949024	0.40	75752	0.24
35.254	90923168	37.99	4124224	13.12
35.665	4159966	1.74	419663	1.33
35.944	1143564	0.48	118088	0.38
36.374	499126	0.21	41454	0.13
37.999	977345	0.41	83906	0.27
39.583	317424	0.13	18058	0.06
41.091	952095	0.40	80649	0.26
45.686	514840	0.22	28007	0.09
50.066	1988175	0.83	210591	0.67
61.186	1752235	0.73	292767	0.93
71.037	208799	0.09	10506	0.03
Totals	239311445	100.00	31440684	100.00

Figura 26: Cromatograma de proceso 2.3 (Aceite de cardamomo no refinado)

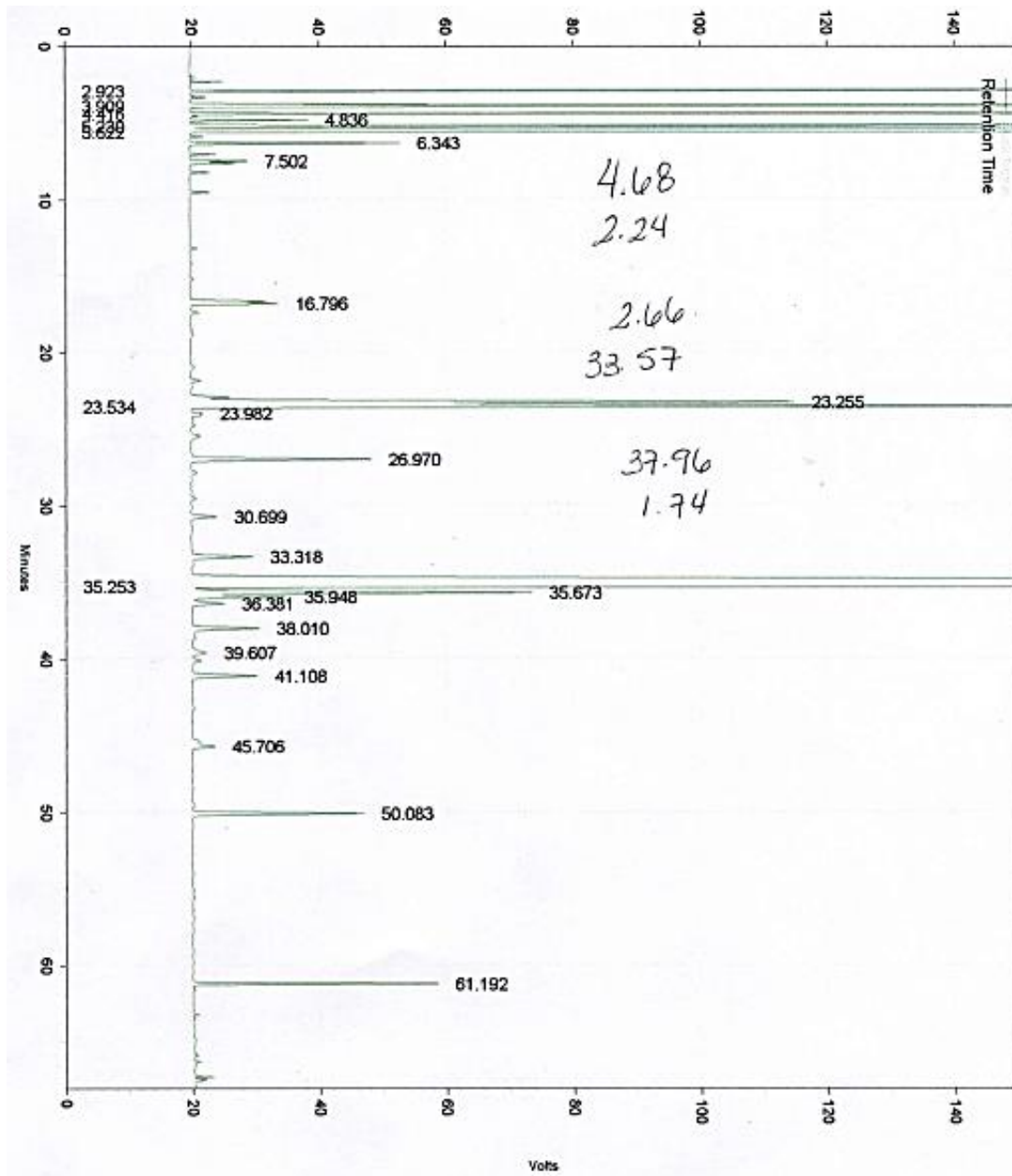


Figura 27: Tabla de valores de cromatograma de proceso 2.3

Back Signal Results				
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
2.923	4483968	1.92	1854098	5.98
3.909	10947222	4.68	3159132	10.18
4.416	5244489	2.24	1458477	4.70
4.836	590267	0.25	143142	0.46
5.230	6211401	2.66	1307952	4.22
5.622	78507220	33.57	15075924	48.60
6.343	1268150	0.54	254414	0.82
7.502	650050	0.28	70218	0.23
16.796	1582676	0.68	106692	0.34
23.255	8650960	3.70	730090	2.35
23.534	10803668	4.62	1174799	3.79
23.982	216626	0.09	14414	0.05
26.970	2127772	0.91	218085	0.70
30.699	349830	0.15	31236	0.10
33.318	917772	0.39	74690	0.24
35.253	88768919	37.96	4025845	12.98
35.673	4068814	1.74	411976	1.33
35.948	1105345	0.47	115659	0.37
36.381	488929	0.21	39669	0.13
38.010	956066	0.41	82015	0.26
39.607	312579	0.13	17806	0.06
41.108	929467	0.40	79453	0.26
45.706	494830	0.21	27215	0.09
50.083	1941788	0.83	207572	0.67
61.192	1718559	0.73	296329	0.96
70.598	322844	0.14	33185	0.11
70.933	210335	0.09	11390	0.04
Totals	233870546	100.00	31021477	100.00

Figura 29: Tabla de valores de cromatograma de proceso 2

Back Signal Results				
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
2.934	4350572	1.82	1697139	5.47
3.917	10902842	4.57	3023472	9.75
4.422	5280992	2.21	1408030	4.54
4.842	577892	0.24	133907	0.43
5.233	6275013	2.63	1262569	4.07
5.629	79733464	33.40	15555223	50.15
6.347	1263824	0.53	243571	0.79
7.502	651018	0.27	68534	0.22
16.781	1627771	0.68	107176	0.35
23.245	8918359	3.74	751202	2.42
23.521	11226184	4.70	1228561	3.96
23.972	220587	0.09	14787	0.05
26.952	2174915	0.91	225269	0.73
30.688	366629	0.15	32565	0.10
33.298	899553	0.38	74812	0.24
35.217	91596358	38.37	3868777	12.47
35.667	4148003	1.74	415637	1.34
35.943	1147373	0.48	118697	0.38
36.378	493572	0.21	40991	0.13
37.997	972957	0.41	84411	0.27
39.585	319156	0.13	18066	0.06
41.095	970757	0.41	82338	0.27
45.688	509687	0.21	27963	0.09
50.065	1993206	0.83	214495	0.69
61.186	1778131	0.74	307919	0.99
70.983	311199	0.13	11086	0.04
Totals	238710014	100.00	31017197	100.00

Figura 30: Cromatograma de proceso 3.1 (Aceite de cardamomo sin refinar)

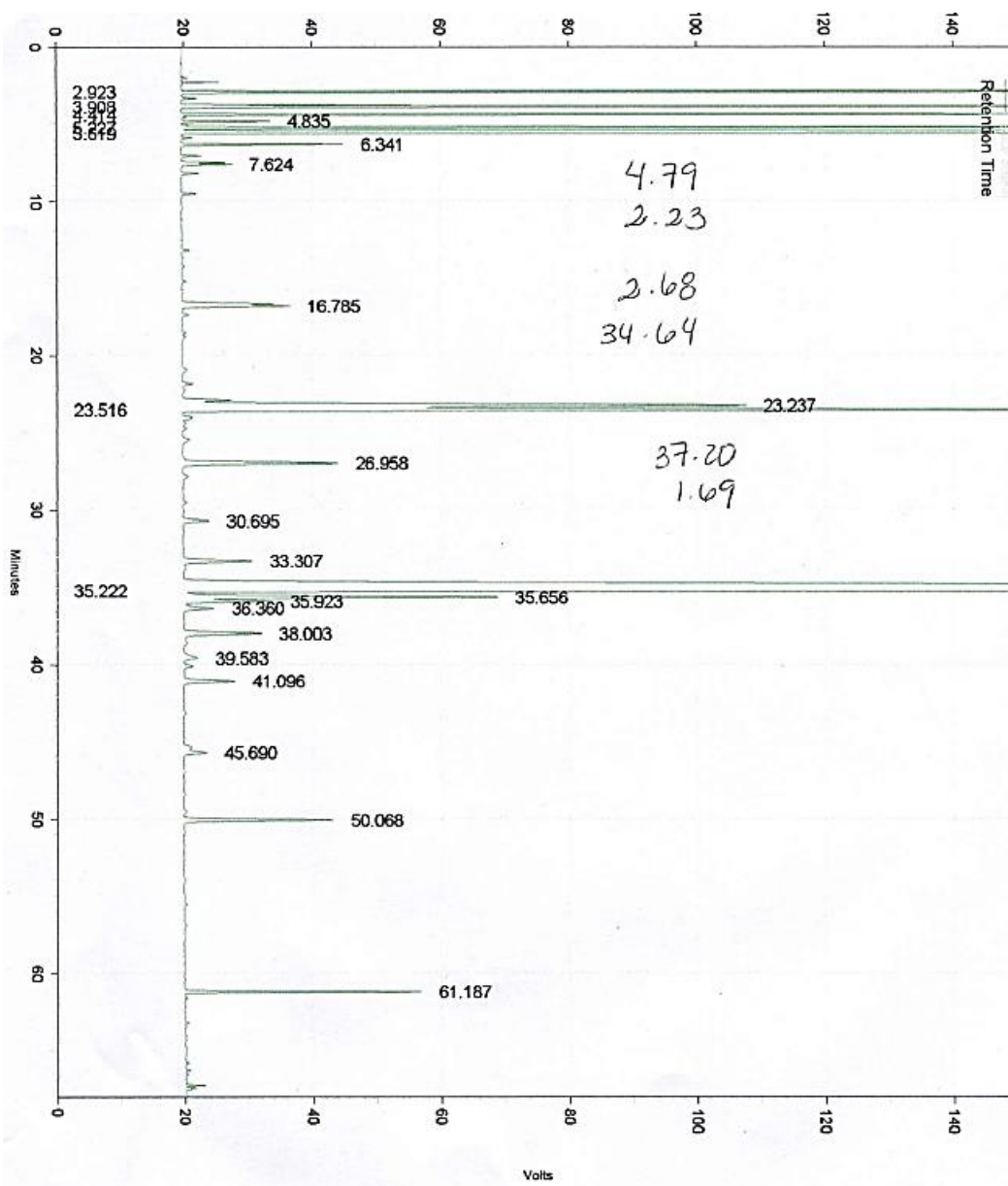


Figura 31: Tabla de valores de cromatograma de proceso 3.1

Back Signal Results				
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
2.923	4500215	2.02	1800420	5.97
3.908	10674898	4.79	3000006	9.94
4.414	4973896	2.23	1352559	4.48
4.835	454803	0.20	106658	0.35
5.227	5979728	2.68	1228413	4.07
5.619	77194352	34.64	15143767	50.19
6.341	1007537	0.45	194704	0.65
7.624	594791	0.27	60954	0.20
16.785	1908990	0.86	129466	0.43
23.237	7976093	3.58	674904	2.24
23.516	10165536	4.56	1115867	3.70
26.958	1815364	0.81	186046	0.62
30.695	348268	0.16	31509	0.10
33.307	951002	0.43	82558	0.27
35.222	82896970	37.20	3872562	12.83
35.656	3768801	1.69	376480	1.25
35.923	1018608	0.46	106818	0.35
36.360	432548	0.19	36379	0.12
38.003	1032901	0.46	93440	0.31
39.583	284498	0.13	17239	0.06
41.096	704839	0.32	60942	0.20
45.690	505344	0.23	27479	0.09
50.068	1661919	0.75	178733	0.59
61.187	1669467	0.75	283732	0.94
70.930	305989	0.14	11625	0.04
Totals	222827357	100.00	30173260	100.00

Figura 32: Cromatograma de proceso 3.2 (Aceite de cardamomo sin refinar)

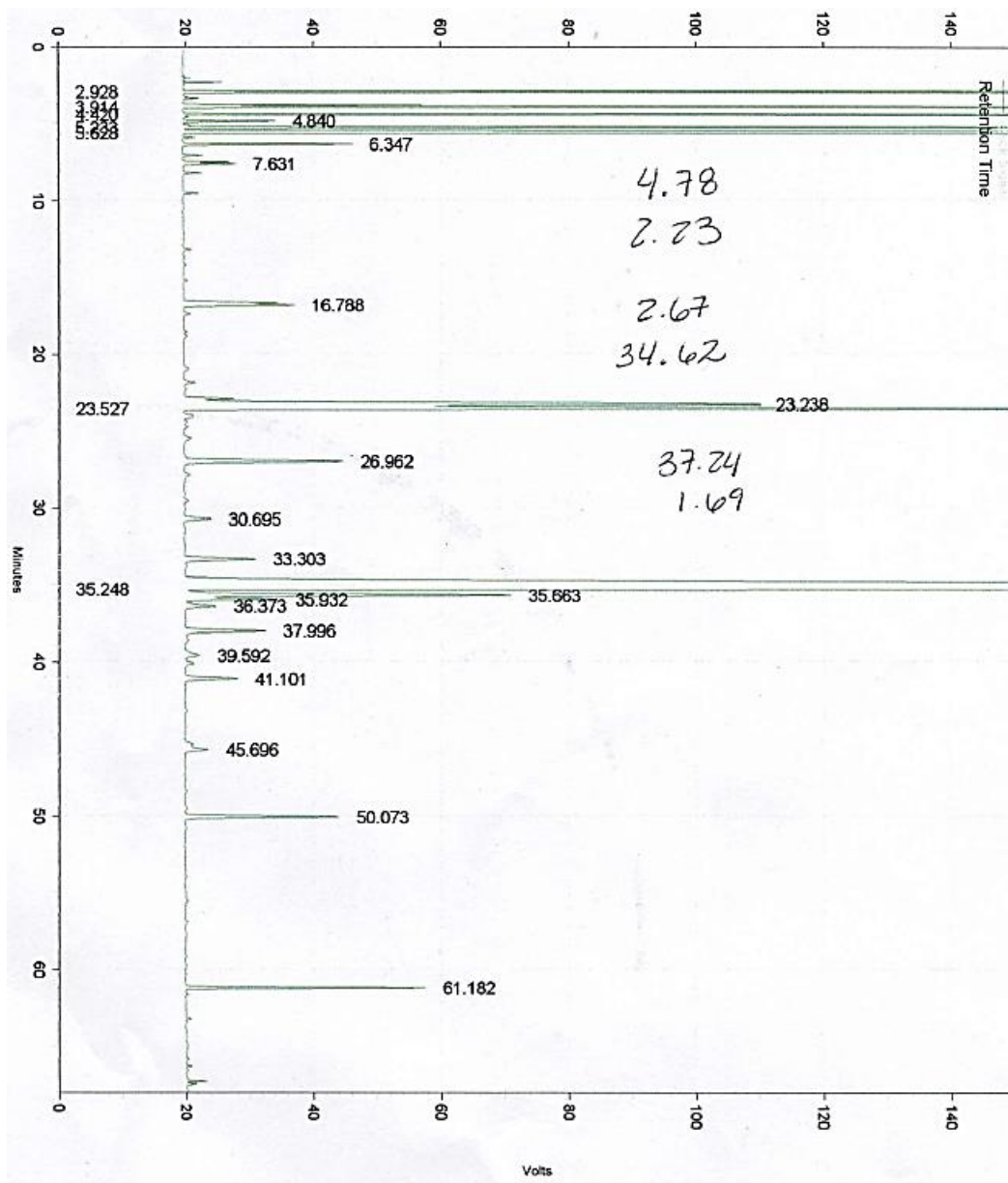


Figura 33: Tabla de valores de cromatograma de proceso 3.2

Back Signal Results					
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %	
2.928	4661287	2.02	1865006	5.98	
3.914	11055145	4.78	3126179	10.02	
4.420	5155909	2.23	1408423	4.51	
4.840	470967	0.20	111790	0.36	
5.233	6183820	2.67	1278948	4.10	
5.628	80071841	34.62	15635306	50.11	
6.347	1042855	0.45	204512	0.66	
7.631	615607	0.27	64104	0.21	
16.788	1992547	0.86	134096	0.43	
23.238	8229202	3.56	692548	2.22	
23.527	10621883	4.59	1156027	3.70	
26.962	1873277	0.81	191515	0.61	
30.695	361752	0.16	32800	0.11	
33.303	981710	0.42	85819	0.28	
35.248	86128797	37.24	3978680	12.75	
35.663	3911415	1.69	393075	1.26	
35.932	1058988	0.46	112034	0.36	
36.373	450861	0.19	37803	0.12	
37.996	1072006	0.46	97305	0.31	
39.592	294783	0.13	17872	0.06	
41.101	730980	0.32	63248	0.20	
45.696	515146	0.22	28609	0.09	
50.073	1719857	0.74	185740	0.60	
61.182	1735670	0.75	289021	0.93	
70.925	324908	0.14	12087	0.04	
Totals	231261213	100.00	31202547	100.00	

Figura 34: Cromatograma de proceso 3.3 (Aceite de cardamomo sin refinar)

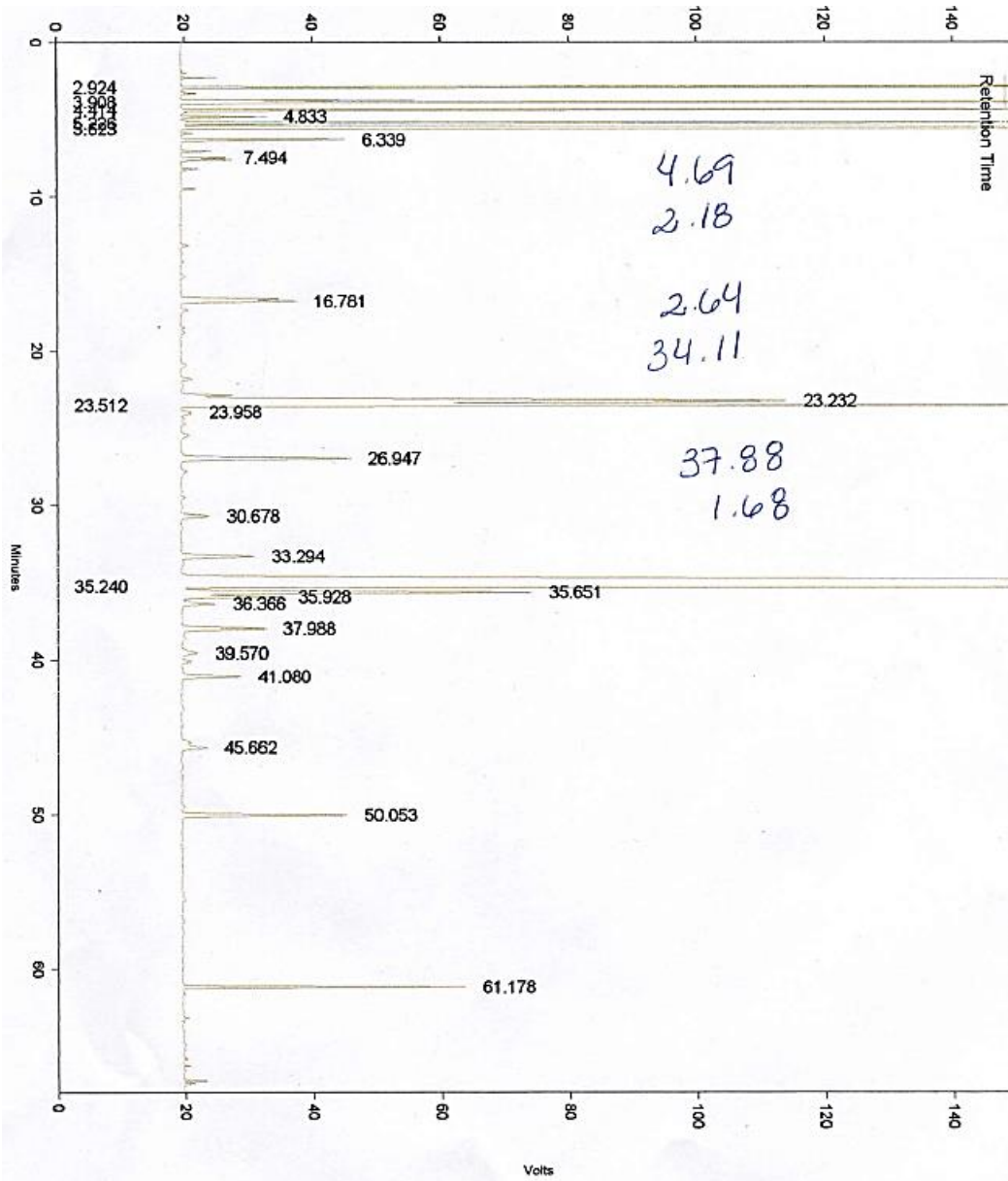


Figura 35: Tabla de valores de cromatograma de proceso 3.3

Back Signal Results				
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
2.924	4881318	1.98	1826486	5.75
3.908	11547754	4.69	3069411	9.67
4.414	5364073	2.18	1375531	4.33
4.833	470324	0.19	103415	0.33
5.226	6493151	2.64	1255240	3.95
5.623	84037014	34.11	15976102	50.33
6.339	1068021	0.43	197410	0.62
7.494	631440	0.26	55395	0.17
16.781	2080172	0.84	139566	0.44
23.232	8767312	3.56	726610	2.29
23.512	11288658	4.58	1213068	3.82
23.958	202095	0.08	13239	0.04
26.947	1995576	0.81	203536	0.64
30.678	386025	0.16	34363	0.11
33.294	1032091	0.42	87626	0.28
35.240	93323760	37.88	4110894	12.95
35.651	4149863	1.68	420689	1.33
35.928	1144768	0.46	119725	0.38
36.366	478921	0.19	41050	0.13
37.988	1136552	0.46	101339	0.32
39.570	337361	0.14	20004	0.06
41.080	845824	0.34	71552	0.23
45.662	571439	0.23	30449	0.10
50.053	1858765	0.75	198398	0.63
61.178	1948436	0.79	339541	1.07
70.916	352584	0.14	12884	0.04
Totals	246393297	100.00	31743523	100.00

Figura 36: Cromatograma de proceso 3 (Aceite de cardamomo refinado)

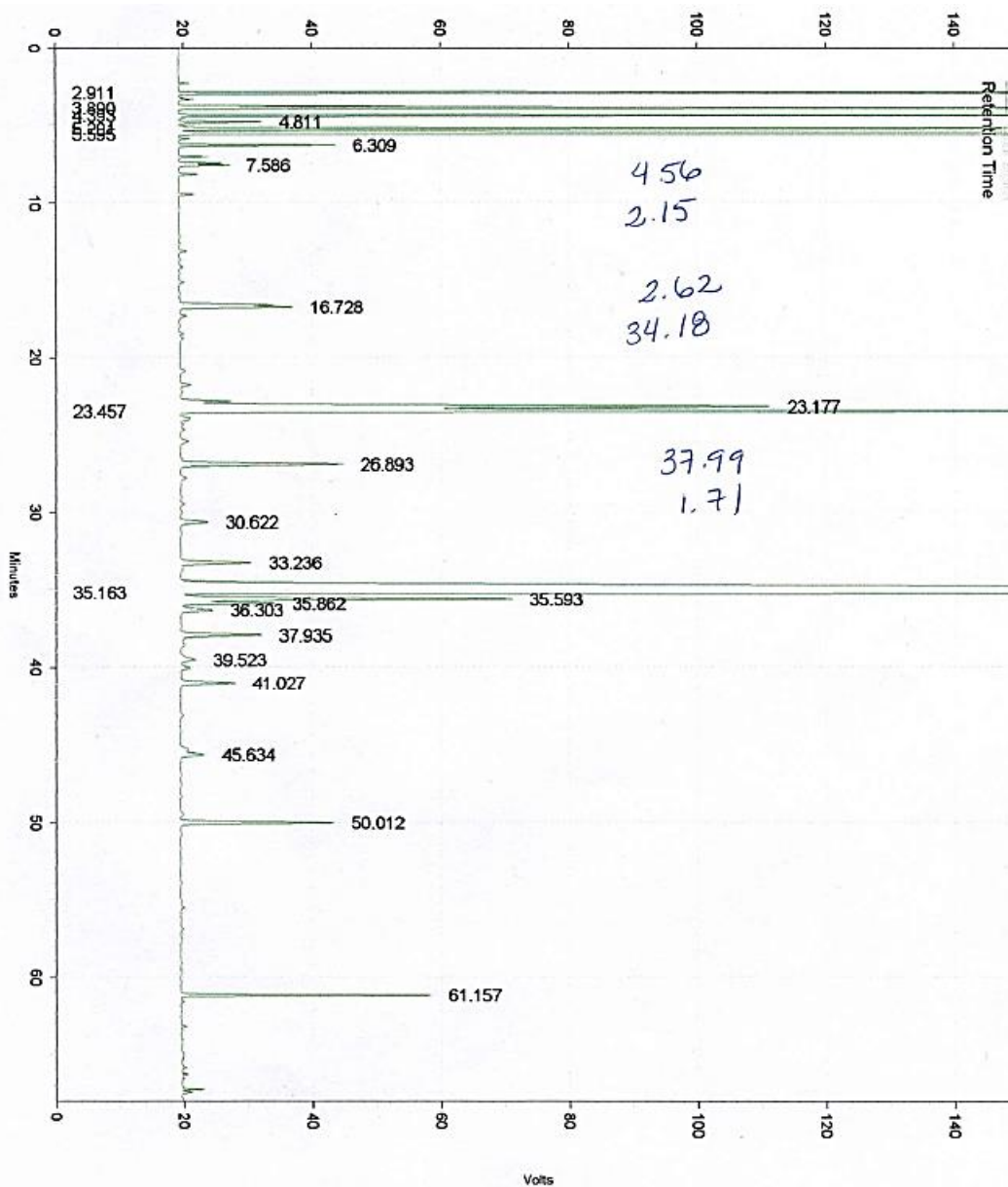


Figura 37: Tabla de valores de cromatograma de proceso 3

Back Signal Results				
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
2.911	4242174	1.84	1664818	5.45
3.890	10518755	4.56	2946786	9.64
4.393	4965171	2.15	1335532	4.37
4.811	427820	0.19	98778	0.32
5.201	6050096	2.62	1237860	4.05
5.595	78768684	34.18	15472263	50.62
6.309	987175	0.43	187157	0.61
7.586	588651	0.26	60078	0.20
16.728	1999342	0.87	135016	0.44
23.177	8409399	3.65	704783	2.31
23.457	10722578	4.65	1181837	3.87
26.893	1877135	0.81	194489	0.64
30.622	367041	0.16	32781	0.11
33.236	981160	0.43	84300	0.28
35.163	87566643	37.99	3980946	13.02
35.593	3933640	1.71	396423	1.30
35.862	1083013	0.47	112358	0.37
36.303	455723	0.20	38220	0.13
37.935	1084552	0.47	96709	0.32
39.523	312995	0.14	18285	0.06
41.027	786647	0.34	64914	0.21
45.634	527415	0.23	28491	0.09
50.012	1729852	0.75	183309	0.60
61.157	1755272	0.76	298519	0.98
70.936	342009	0.15	12133	0.04
Totals	230482942	100.00	30566785	100.00

Figura 38: Cromatograma de proceso 4.1 (Aceite de cardamomo sin refinar)

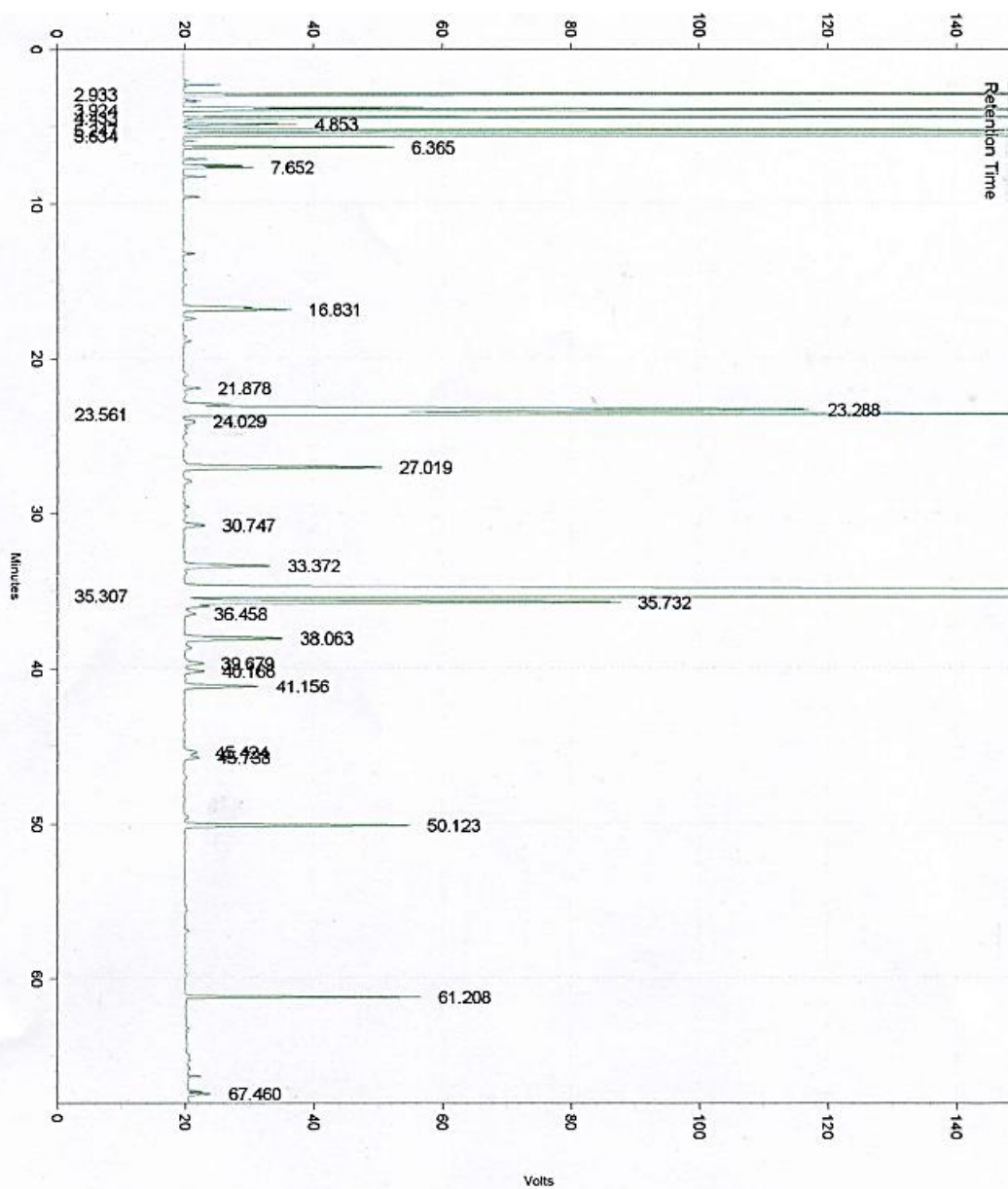


Figura 39: Tabla de valores de cromatograma de proceso 4.1

Back Signal Results				
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
2.933	4365484	1.92	1803030	5.91
3.924	11791205	5.18	3491036	11.44
4.433	5743052	2.53	1635278	5.36
4.853	554521	0.24	136140	0.45
5.247	6021127	2.65	1314541	4.31
5.634	69777946	30.68	14031658	45.98
6.365	1227810	0.54	252329	0.83
7.652	768769	0.34	84235	0.28
16.831	1677071	0.74	129597	0.42
21.878	205393	0.09	20270	0.07
23.288	8739055	3.84	748465	2.45
23.561	9041913	3.98	1008523	3.31
24.029	239555	0.11	14686	0.05
27.019	2319544	1.02	236554	0.78
30.747	277657	0.12	24858	0.08
33.372	1178550	0.52	102411	0.34
35.307	89483580	39.34	4015738	13.16
35.732	5543097	2.44	521773	1.71
36.458	231681	0.10	14678	0.05
38.063	1292177	0.57	117660	0.39
39.679	356477	0.16	23222	0.08
40.166	301216	0.13	24193	0.08
41.156	1016660	0.45	88771	0.29
45.424	237111	0.10	16316	0.05
45.738	228730	0.10	18241	0.06
50.123	2463742	1.08	269500	0.88
61.208	1654440	0.73	280776	0.92
67.460	251996	0.11	27025	0.09
69.675	233972	0.10	53323	0.17
71.088	213416	0.09	9038	0.03
Totals	227436947	100.00	30513865	100.00

Figura 40: Cromatograma de proceso 4.2 (Aceite de cardamomo sin refinar)

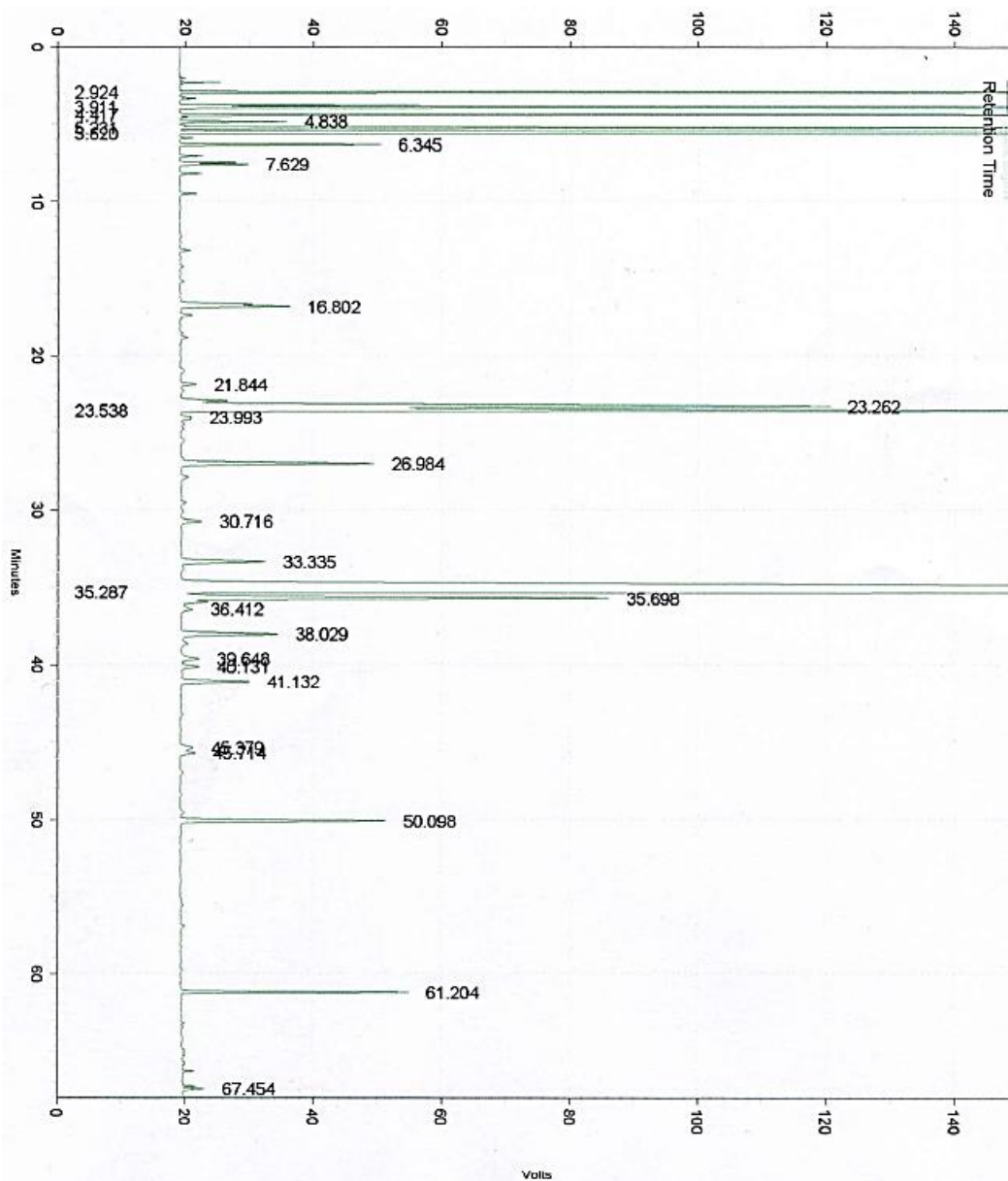


Figura 41: Tabla de valores de cromatograma de proceso 4.2

Back Signal Results				
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
2.924	4469605	1.96	1829407	5.93
3.911	11686424	5.11	3407566	11.04
4.417	5661179	2.48	1582942	5.13
4.838	533931	0.23	128894	0.42
5.231	6117813	2.68	1306772	4.23
5.620	72408271	31.69	14543336	47.13
6.345	1194828	0.52	241415	0.78
7.629	753407	0.33	82751	0.27
16.802	1742015	0.76	132362	0.43
21.844	206460	0.09	20259	0.07
23.262	9061371	3.97	779405	2.53
23.538	9339318	4.09	1049199	3.40
23.993	235123	0.10	14524	0.05
26.984	2330488	1.02	232391	0.75
30.716	337188	0.15	26675	0.09
33.335	1244557	0.54	102607	0.33
35.287	87711690	38.39	4021028	13.03
35.698	5578853	2.44	513939	1.67
36.412	270875	0.12	15466	0.05
38.029	1309731	0.57	117033	0.38
39.648	388827	0.17	23416	0.08
40.131	303433	0.13	23565	0.08
41.132	975932	0.43	83365	0.27
45.379	228740	0.10	15765	0.05
45.714	241469	0.11	18727	0.06
50.098	2287198	1.00	246403	0.80
61.204	1624215	0.71	273486	0.89
67.454	249023	0.11	26571	0.09
Totals	228491964	100.00	30859269	100.00

Figura 42: Cromatograma de proceso 4.3 (Aceite de cardamomo sin refinar)

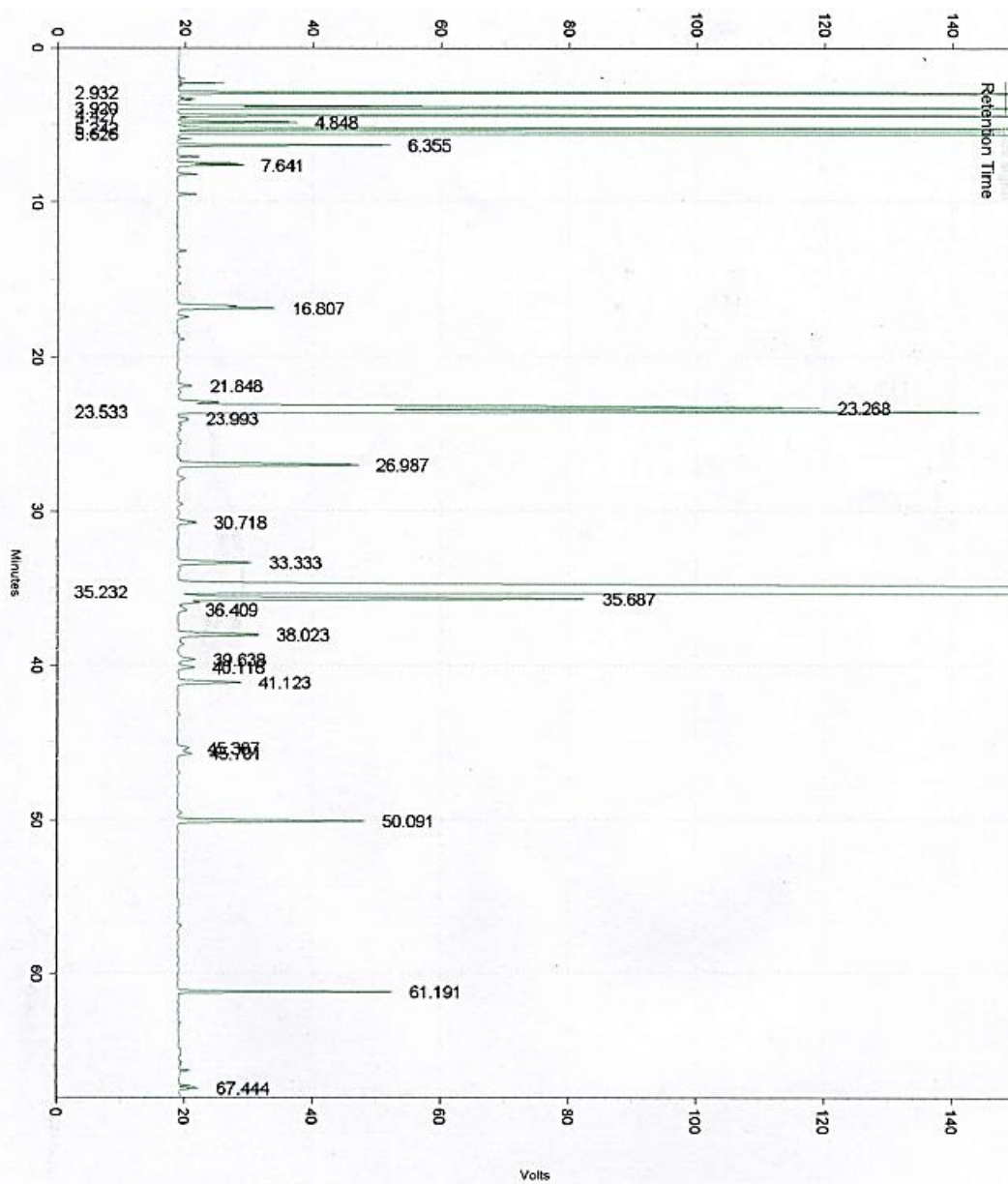


Figura 43: Tabla de valores de cromatograma de proceso 4.3

Back Signal Results				
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
2.932	4394497	2.06	1884276	6.33
3.920	11240750	5.26	3431337	11.52
4.427	5449001	2.55	1597544	5.36
4.848	563163	0.26	143691	0.48
5.242	5890350	2.76	1328786	4.46
5.626	68467132	32.04	13888194	46.62
6.355	1219346	0.57	256200	0.86
7.641	741190	0.35	80158	0.27
16.807	1493416	0.70	117164	0.39
21.848	209320	0.10	18732	0.06
23.268	8719266	4.08	772694	2.59
23.533	8471840	3.97	963837	3.24
23.993	223476	0.10	13663	0.05
26.987	2165798	1.01	217941	0.73
30.718	273562	0.13	23751	0.08
33.333	1110303	0.52	89709	0.30
35.232	80634579	37.74	3698655	12.42
35.687	5261564	2.46	490521	1.65
36.409	230411	0.11	13095	0.04
38.023	1127852	0.53	98827	0.33
39.638	348174	0.16	22157	0.07
40.116	263625	0.12	21517	0.07
41.123	901591	0.42	76856	0.26
45.387	206514	0.10	15044	0.05
45.701	227235	0.11	17833	0.06
50.091	2080349	0.97	225292	0.76
61.191	1522222	0.71	257404	0.86
67.444	227054	0.11	23830	0.08
Totals	213663580	100.00	29788708	100.00

Figura 44: Cromatograma de proceso 4 (Aceite de cardamomo refinado)

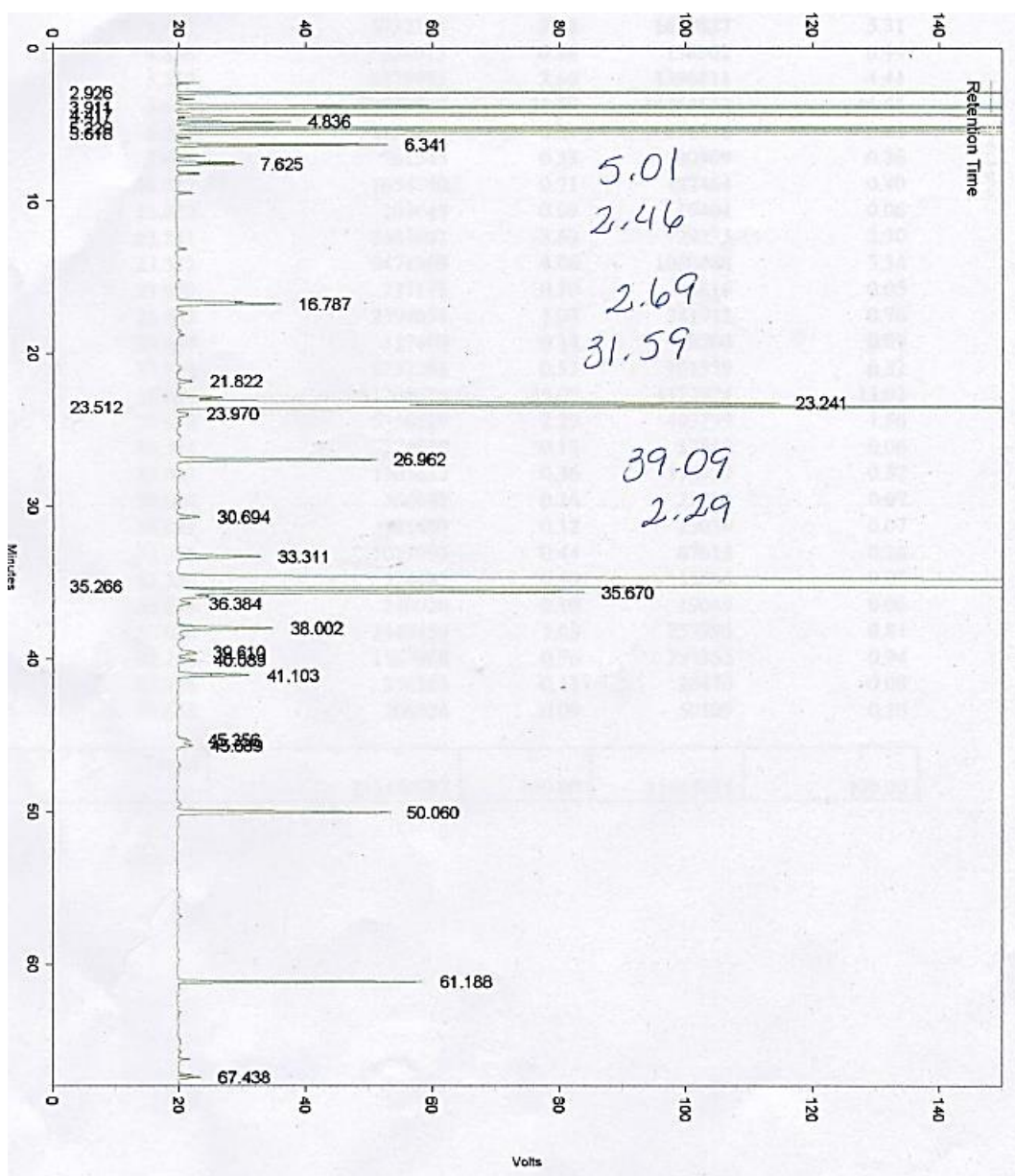


Figura 45: Tabla de valores de cromatograma de proceso 4

Back Signal Results				
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
2.926	4416558	1.89	1895761	5.99
3.911	11699240	5.01	3563638	11.26
4.417	5732304	2.46	1679837	5.31
4.836	554013	0.24	138902	0.44
5.229	6279993	2.69	1396811	4.41
5.618	73758866	31.59	14764623	46.65
6.341	1250205	0.54	256538	0.81
7.625	761545	0.33	80909	0.26
16.787	1654740	0.71	127464	0.40
21.822	203043	0.09	19404	0.06
23.241	8483961	3.63	729235	2.30
23.512	9471309	4.06	1056488	3.34
23.970	237173	0.10	14816	0.05
26.962	2394051	1.03	241911	0.76
30.694	317490	0.14	28206	0.09
33.311	1232363	0.53	101359	0.32
35.266	91268676	39.09	4122974	13.03
35.670	5356529	2.29	493739	1.56
36.384	274690	0.12	17540	0.06
38.002	1307632	0.56	116737	0.37
39.610	366642	0.16	22892	0.07
40.089	281600	0.12	23039	0.07
41.103	1023993	0.44	87613	0.28
45.356	224487	0.10	15866	0.05
45.689	240020	0.10	19049	0.06
50.060	2449459	1.05	257793	0.81
61.188	1767968	0.76	297352	0.94
67.438	256263	0.11	26470	0.08
69.658	206024	0.09	50109	0.16
Totals	233470837	100.00	31647075	100.00

Figura 46: Cromatograma de proceso 5.1 (Aceite de cardamomo sin refinar)

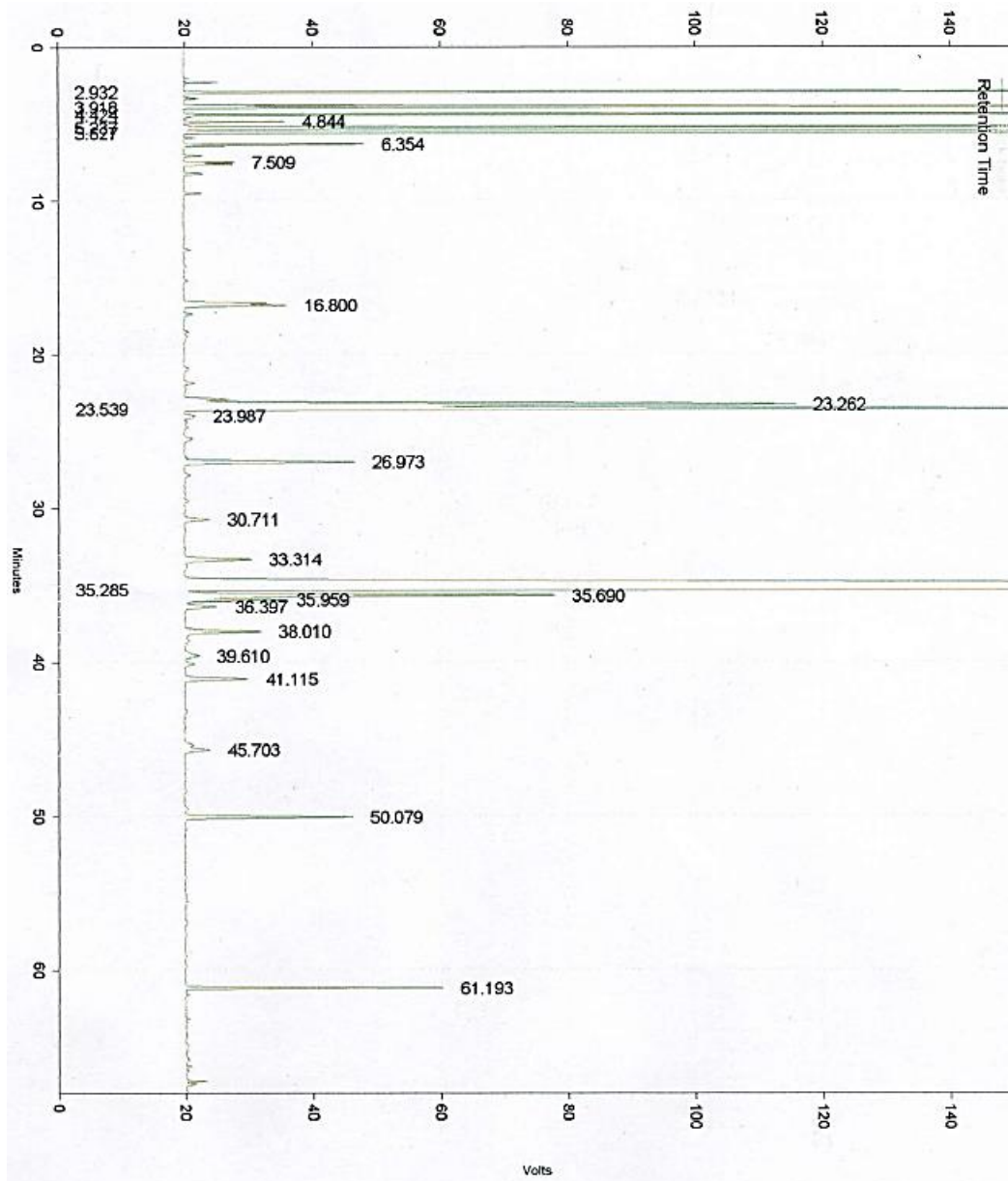


Figura 47: Tabla de valores de cromatograma de proceso 5.1

Back Signal Results				
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
2.932	4249673	1.85	1675205	5.54
3.918	10816969	4.71	3016118	9.98
4.424	5163112	2.25	1388434	4.59
4.844	522268	0.23	122069	0.40
5.237	5847017	2.54	1196583	3.96
5.627	72869265	31.72	14702745	48.66
6.354	1147037	0.50	217386	0.72
7.509	637308	0.28	61448	0.20
16.800	1801867	0.78	124477	0.41
23.262	8794834	3.83	736940	2.44
23.539	10693802	4.65	1176829	3.89
23.987	203586	0.09	13684	0.05
26.973	2009041	0.87	205473	0.68
30.711	339502	0.15	30740	0.10
33.314	946262	0.41	80019	0.26
35.285	90998956	39.61	4130067	13.67
35.690	4470465	1.95	445417	1.47
35.959	1087187	0.47	113326	0.38
36.397	464612	0.20	39156	0.13
38.010	1038831	0.45	91956	0.30
39.610	310841	0.14	17932	0.06
41.115	910506	0.40	76766	0.25
45.703	530392	0.23	30299	0.10
50.079	1867366	0.81	202525	0.67
61.193	1837598	0.80	310477	1.03
70.968	200143	0.09	10930	0.04
Totals	229758440	100.00	30217001	100.00

Figura 48: Cromatograma de proceso 5.2 (Aceite de cardamomo sin refinar)

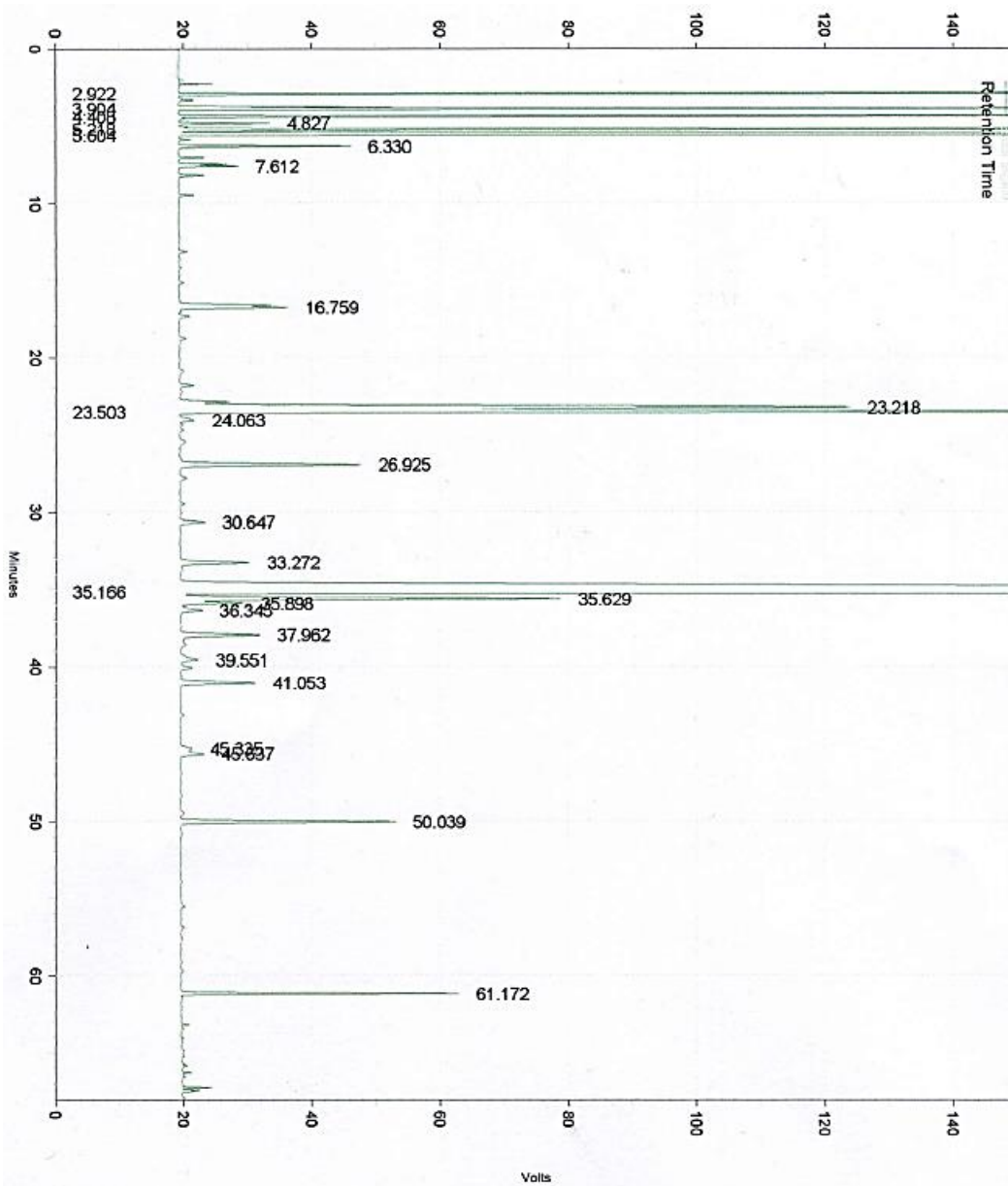


Figura 49: Tabla de valores de cromatograma de proceso 5.2

Back Signal Results					
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %	
2.922	4309393	1.84	1639383	5.50	
3.904	10942482	4.66	3001707	10.07	
4.408	5171186	2.20	1364334	4.58	
4.827	477807	0.20	109316	0.37	
5.218	5736727	2.44	1163461	3.90	
5.604	71182837	30.34	14413144	48.36	
6.330	1102264	0.47	206753	0.69	
7.612	688359	0.29	71937	0.24	
16.759	1958467	0.83	130792	0.44	
23.218	9794038	4.17	803047	2.69	
23.503	12451241	5.31	1334631	4.48	
24.063	253851	0.11	18048	0.06	
26.925	2133150	0.91	216891	0.73	
30.647	343032	0.15	30369	0.10	
33.272	967803	0.41	82717	0.28	
35.166	93517264	39.85	3762523	12.63	
35.629	4556395	1.94	455313	1.53	
35.898	718617	0.31	74876	0.25	
36.345	332717	0.14	26148	0.09	
37.962	1075806	0.46	94999	0.32	
39.551	369045	0.16	21832	0.07	
41.053	1068617	0.46	89846	0.30	
45.335	230300	0.10	14582	0.05	
45.637	371759	0.16	28003	0.09	
50.039	2406467	1.03	257067	0.86	
61.172	1977628	0.84	332521	1.12	
69.645	202207	0.09	45702	0.15	
70.967	316126	0.13	11234	0.04	
Totals	234655585	100.00	29801176	100.00	

Figura 50: Cromatograma de proceso 5.3 (Aceite de cardamomo sin refinar)

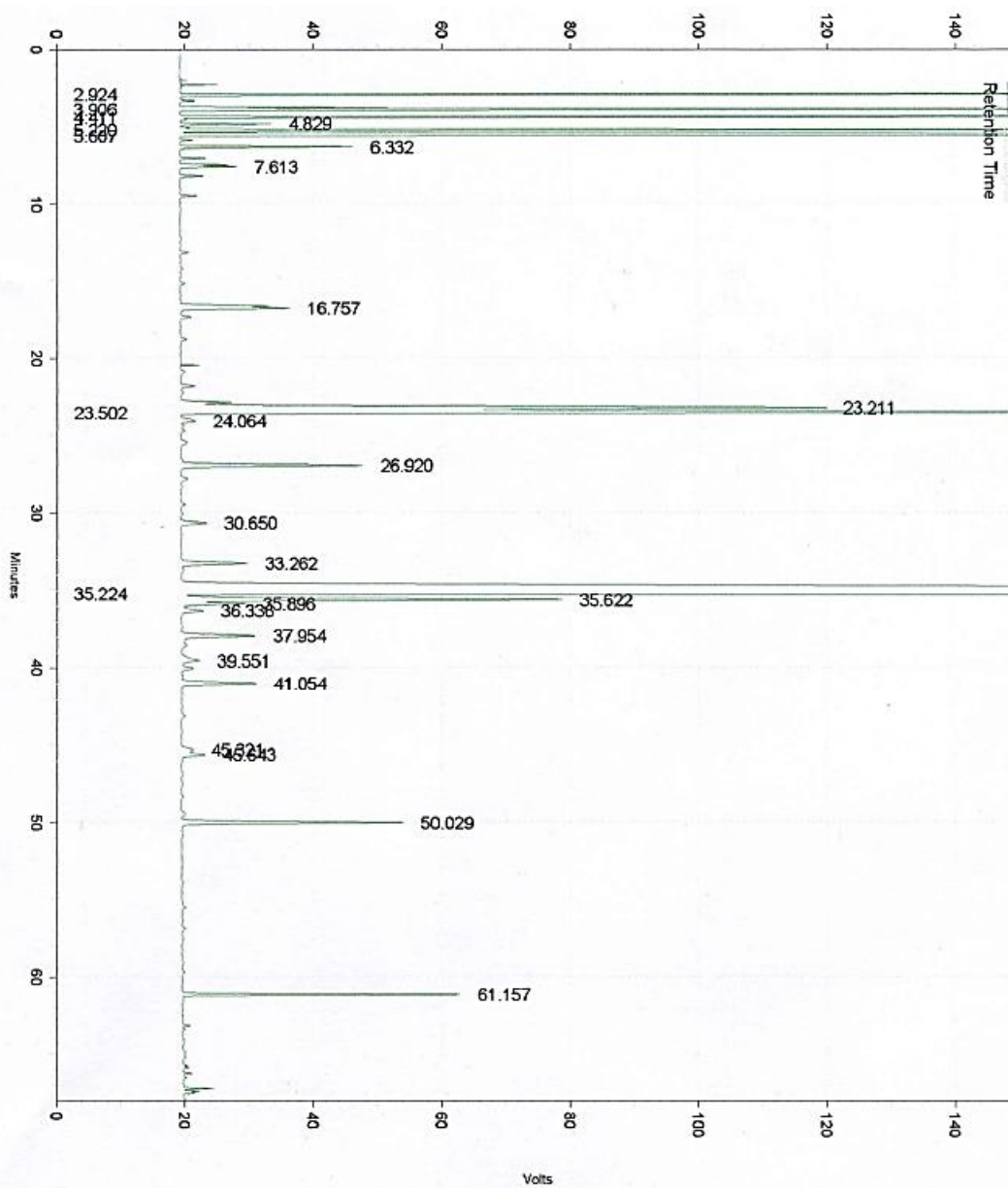


Figura 51: Tabla de valores de cromatograma de proceso 5.3

Back Signal Results					
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %	
2.924	4293893	1.83	1592619	5.33	
3.906	10837383	4.63	2870343	9.60	
4.411	5144208	2.20	1309748	4.38	
4.829	491600	0.21	108997	0.36	
5.220	5787853	2.47	1137223	3.80	
5.607	71911405	30.72	14417873	48.22	
6.332	1131692	0.48	207000	0.69	
7.613	688385	0.29	68527	0.23	
16.757	1936348	0.83	130901	0.44	
23.211	9529460	4.07	770957	2.58	
23.502	12536366	5.36	1332815	4.46	
24.064	252663	0.11	18047	0.06	
26.920	2143895	0.92	217509	0.73	
30.650	348094	0.15	31069	0.10	
33.262	923274	0.39	78750	0.26	
35.224	92819808	39.65	4200986	14.05	
35.622	4571655	1.95	454659	1.52	
35.896	724207	0.31	76227	0.25	
36.336	330940	0.14	25834	0.09	
37.954	1027106	0.44	88677	0.30	
39.551	377810	0.16	21880	0.07	
41.054	1071809	0.46	89705	0.30	
45.321	225196	0.10	14460	0.05	
45.643	370541	0.16	28483	0.10	
50.029	2454229	1.05	265020	0.89	
61.157	1940184	0.83	332117	1.11	
70.998	210214	0.09	10816	0.04	
Totals	234080218	100.00	29901242	100.00	

Figura 52: Cromatograma de proceso 5 (Aceite de cardamomo refinado)

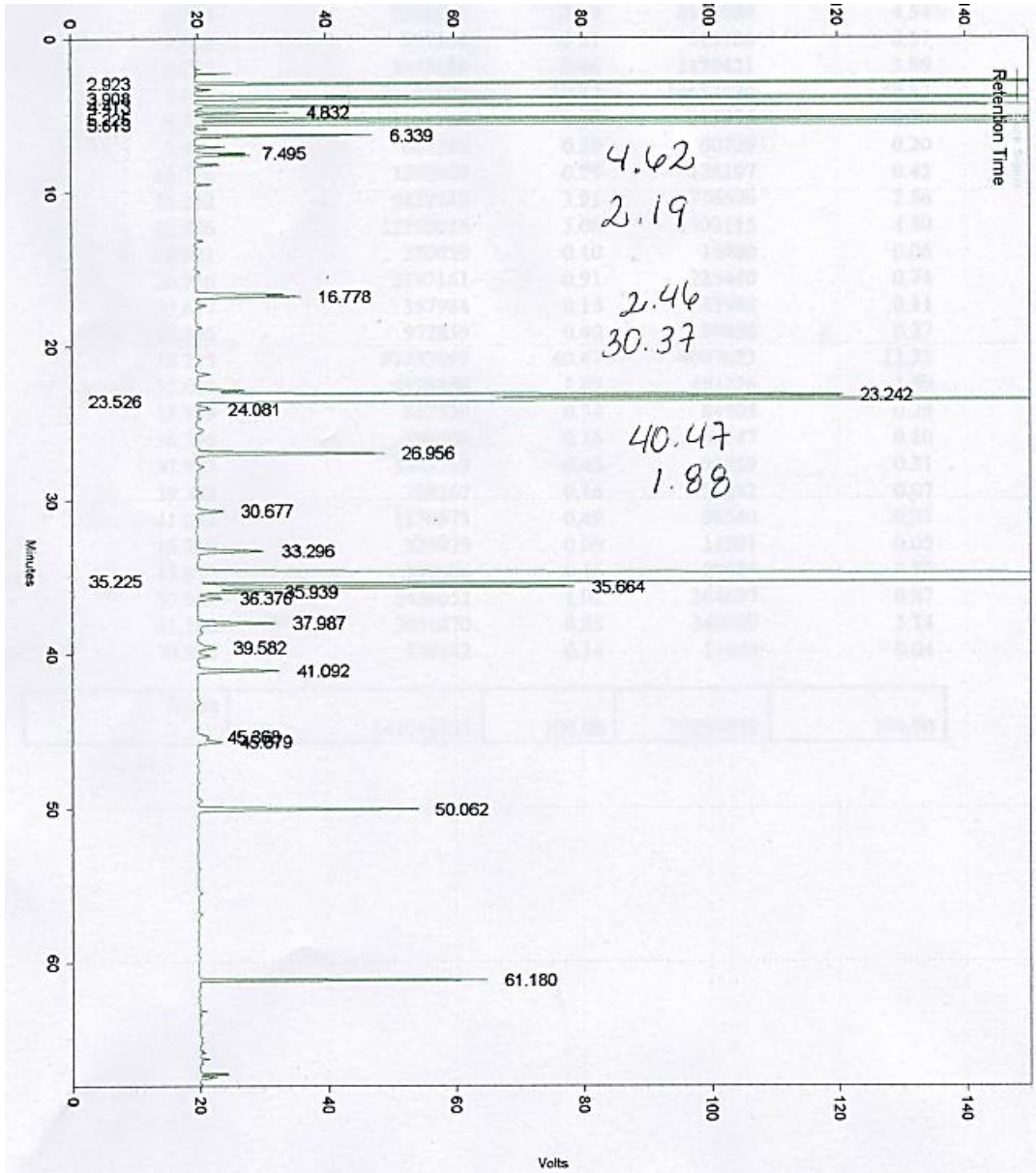


Figura 53: Tabla de valores de cromatograma de proceso 5

Back Signal Results				
Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
2.923	4386383	1.82	1669445	5.51
3.908	11135792	4.62	3009113	9.93
4.413	5281861	2.19	1375989	4.54
4.832	507364	0.21	113186	0.37
5.225	5937488	2.46	1179421	3.89
5.613	73187800	30.37	14654570	48.37
6.339	1161758	0.48	213455	0.70
7.495	687263	0.29	60729	0.20
16.778	1892485	0.79	126197	0.42
23.242	9429342	3.91	776506	2.56
23.526	12250015	5.08	1303115	4.30
24.081	250859	0.10	16989	0.06
26.956	2197161	0.91	225440	0.74
30.677	357984	0.15	31988	0.11
33.296	972859	0.40	80658	0.27
35.225	97533899	40.47	4007623	13.23
35.664	4528458	1.88	453226	1.50
35.939	817536	0.34	84905	0.28
36.376	390608	0.16	30247	0.10
37.987	1083769	0.45	93959	0.31
39.582	389167	0.16	22312	0.07
41.092	1170573	0.49	98540	0.33
45.368	225979	0.09	14581	0.05
45.679	390906	0.16	29619	0.10
50.062	2456052	1.02	264627	0.87
61.180	2051870	0.85	346040	1.14
70.975	339142	0.14	11499	0.04
Totals	241014373	100.00	30293979	100.00

E. ANÁLISIS DE CONCENTRACIÓN DE COMPONENTES

Figura 54: Comportamiento del compuesto Eucaliptol con el proceso de aireado

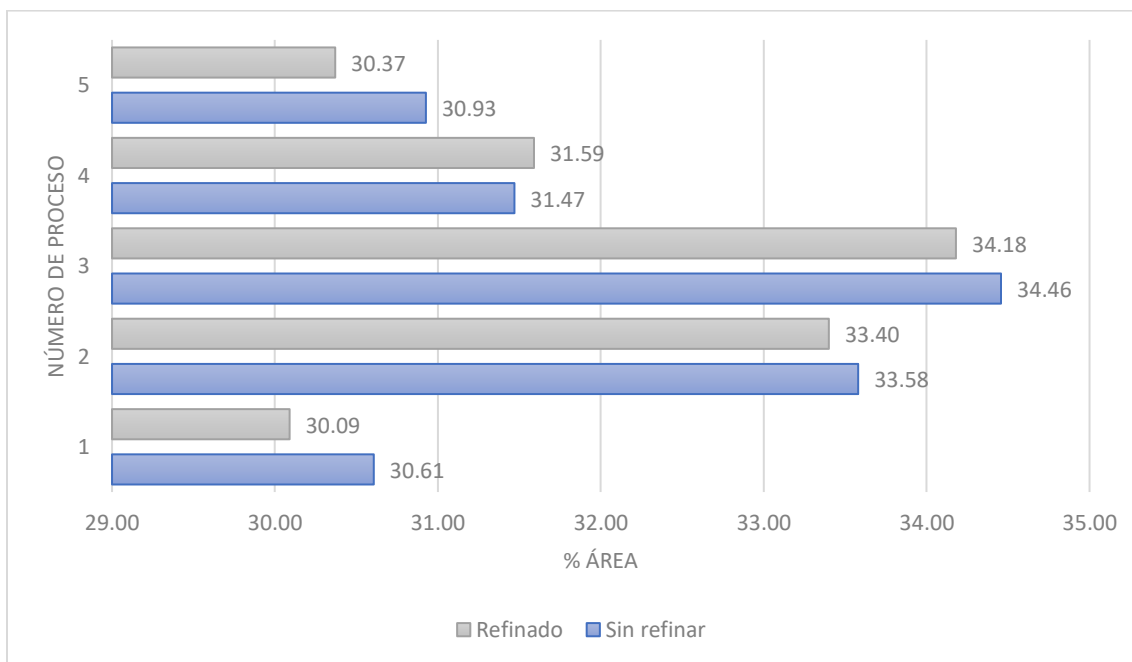
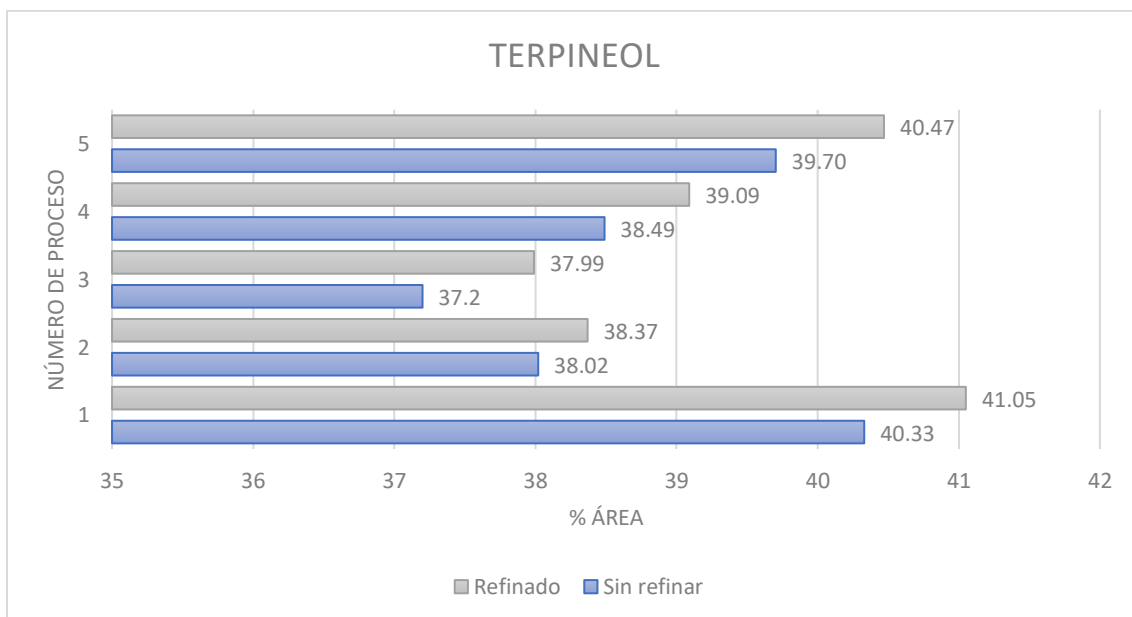


Figura 55: Comportamiento del compuesto Terpineol con el proceso de aireado



F. METODOLOGÍAS DE LA AOCS PARA ANÁLISIS DE ACEITE DE CARDAMOMO

VALOR DE YODO PARA ÁCIDOS GRASOS, MÉTODO WIJS

1. Cristalería y equipo:
 - a. Matraces Erlenmeyer de boca ancha de 500 mL.
 - b. Matraz aforado con tapón de vidrio, calibrado con precisión para contener 1000 mL.
 - c. Pipetas de 5, 20 y 25 mL.
 - d. Papel filtro – Whatman no. 541 o equivalente.
2. Reactivos
 - a. Ácido acético glacial – grado ACS.
 - i. Se debe realizar la prueba de permanganato para asegurar que se cumple con la especificación. Esta prueba consiste en diluir 2 mL del ácido con 10 mL de agua destilada y añadir 0.1 mL de 0.2 M N KMnO. El color rosa no debe desaparecer por completo en 2 h.
 - b. Yoduro de potasio – grado ACS o AR.
 - c. Cloro – 99.8%. Se dispone de grados comerciales satisfactorios en cilindros, pero el gas no debe secarse pasándolo por ácido sulfúrico antes de introducirlo en la solución de yodo.
 - d. Almidón soluble – sometido a prueba de sensibilidad.
 - i. Hacer una pasta con 1 g de almidón y una pequeña cantidad de agua destilada fría. Añadir, sin dejar agitar, 200 mL de agua hirviendo. Colocar 5 mL de esta solución en 100 mL de agua y añadir 0.05 mL de solución 0.1 M de yodo. El color azul intenso producido debe ser eliminado con 0.05 mL de tiosulfato sódico 0.1 M.
 - e. Dicromato potásico – grado ACS.
 - i. El dicromato de potasio debe molerse finamente y secarse hasta peso constante a unos 110 °C antes de utilizarlo.
 - f. Tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) – grado ACS.
 - g. Yodo – grado ACS.
 - h. Solución de ciclohexano-ácido acético-1:1 (v/v). Realizar una nueva diariamente.
 - i. Solución Wijs – grado AR.

3. Soluciones

- a. Solución de yoduro de potasio: Disolver 150 g en agua destilada y completar hasta 1 L.
- b. Solución indicadora de almidón: hacer una pasta homogénea de 10 g de almidón de papa en agua destilada fría. Añadir a esto 1 L of de agua destilada hirviendo, agitar rápidamente y enfriar. Se puede añadir ácido salicílico (1.25 g/L) para preservar el indicador. Si se requiere un almacenamiento prolongado, la solución debe conservarse en un refrigerador a 4-10 °C (40-50 °F). Debe prepararse indicador fresco cuando el punto final de la titulación de azul a incoloro no sea nítido. Si se almacena en refrigeración, la solución de almidón debe ser estable durante aproximadamente 2-3 semanas.
- c. Solución de tiosulfato de sodio, 0,1 M: disolver 24.9 g de tiosulfato de sodio en agua destilada y diluir hasta 1 L.
 - i. Estandarización: pesar 0.16-0.22 g de dicromato de potasio finamente molido y secado en un matraz o frasco de 500 mL por diferencia de un frasco de pesado. Disolver en 25 mL de agua, añadir 5 mL de ácido clorhídrico, 20 mL de solución de yoduro potásico y girar para mezclar. Dejar reposar 5 min y añadir 100 mL de agua destilada. Valorar con solución de tiosulfato sódico, agitando continuamente hasta que el color amarillo casi haya desaparecido. Añadir 1-2 mL de indicador de almidón y continuar la valoración, añadiendo la solución de tiosulfato lentamente hasta que el color azul haya desaparecido. La fuerza de la solución de tiosulfato sódico se expresa en términos de su molaridad.

$$\begin{aligned} \text{Molaridad de la solución de } Na_2S_2O_3 \\ = \frac{20.394 * \text{masa de } K_2Cr_2O_7 (g)}{\text{ml de solución de tiosulfato de sodio}} \end{aligned}$$

- d. La solución Wis puede comprarse o prepararse en el laboratorio. Disolver 13.0 g de yodo en 1 L de ácido acético glacial. Calentar suavemente para favorecer la disolución. Enfriar. Extraer una pequeña cantidad (100-200 ml) y reservar en un lugar fresco para uso futuro. Pasar gas cloro seco en la solución de yodo hasta que la valoración original no sea el doble. Se produce un cambio de color característico en la solución de Wis cuando se ha añadido la cantidad deseada de cloro. Esto

puede utilizarse como ayuda para juzgar el punto final. Un procedimiento conveniente es añadir un pequeño exceso de cloro y volver inmediatamente a la valoración deseada añadiendo parte de la solución original de yodo que se extrajo al principio. La solución original y la solución de Wijs terminada se titulan ambas con solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ como se indica en el Procedimiento, f y g. La solución de Wijs puede prepararse a partir de monoclóruo de yodo comercial como sigue:

- i. Solución madre: Agregar 317 ± 0.1 g de monoclóruo de yodo 1L de ácido acético glacial y filtrar a través de papel de filtro Whatman no. 541 o equivalente en un frasco de vidrio actínico limpio y seco. Filtrar rápidamente para evitar la contaminación con humedad y conservar en lugar fresco. Desechar la solución si se forma un precipitado al reposar.
 - ii. Solución Wijs: Usando una probeta graduada vierta $117.0 + 0.1$ mL de la solución madre en una botella estándar de 5 lb de ácido acético glacial y mezcle bien agitando.
- e. La relación I/CI de la solución de Wijs deberá estar dentro de los límites de 1.10 ± 0.1 . El procedimiento para determinar la relación es el siguiente:
- i. Contenido de yodo:
 1. Verter 150 mL de agua clorada saturada en un matraz de 500 mL de yodo y añadir algunas perlas de vidrio.
 2. Pipetear 5 mL de la solución de Wijs en el matraz que contiene el agua clorada saturada. Agitar y calentar hasta ebullición.
 3. Hervir enérgicamente durante 10 minutos, enfriar y añadir 30 mL de ácido sulfúrico al 2% y 15 mL de solución de yoduro potásico al 15%.
 4. Mezclar bien, y valorar inmediatamente con solución 0.1 M de tiosulfato sódico hasta el punto final de almidón.
 - ii. Contenido total de halógenos:
 1. Verter 150 mL de agua destilada recién hervida en un matraz limpio y seco de 500 mL de yodo.
 2. Añadir 15 mL de solución de yodo potásico al 15%.
 3. Pipetear 20 mL de solución de Wijs en el matraz y mezclar bien.
 4. Valorar con solución de tiosulfato sódico 0.1 M hasta un punto final de almidón.

4. Procedimiento

- a. Fundir la muestra, si no está ya líquida, y filtrarla con papel de filtro para eliminar las impurezas sólidas y los últimos restos de humedad. La temperatura durante la fusión y el filtrado no debe superar en más de 10 °C el punto de fusión de la muestra. La muestra de ensayo debe estar absolutamente seca.
Nota – Todo el material de vidrio debe estar absolutamente limpio y completamente seco.
- b. Pesar con precisión la muestra en un matraz o frasco de 500 mL al que se hayan añadido 15 mL de ciclohexano:ácido acético, 1:1 (v/v). El peso de la muestra de ensayo debe ser tal que haya un exceso de solución de Wijs del 100-150% sobre la cantidad absorbida. La Figura 56 es una guía para el tamaño de la muestra de ensayo en función del peso.
- c. Pipetear los 25 mL de solución de Wijs en el matraz que contiene la muestra, tapar el matraz y agitar para asegurar un mezclado profundo.
- d. Preparar y realizar una determinación en blanco con cada grupo de muestras de ensayo simultáneamente y similar en todos los aspectos a las muestras.
- e. Almacene los matraces en un lugar oscuro por 30 minutos a una temperatura de 25 ± 5 °C.
- f. Saque los matraces del almacén y añada 20 mL de solución de KI, seguidos de 100 mL de agua destilada añadida al borde de los matraces de yodo para absorber el yodo que pueda escaparse por los tapones mientras esperan a ser valorados.
- g. Valorar con solución 0,1 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, añadiéndola gradualmente y con agitación constante y enérgica. Continuar la valoración hasta que el color amarillo casi haya desaparecido. Añadir 1-2 mL de solución indicadora de almidón y continuar la valoración hasta que el color azul haya desaparecido.

5. Cálculos

$$\text{Valor de yodo} = \frac{(B - S) * M * 12.69}{\text{masa de la muestra (g)}}$$

Donde:

B = volumen de titulante, mL del blanco.

S = volumen del titulante, mL de la muestra de ensayo.

M = molaridad de la solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

6. Anexos

Figura 56: Masa de la porción de muestra, g

Valor de Yodo	Aceites normales 100-150% exceso de reactivo	Aceites conjugados yodo 115-135% exceso de reactivo
< 3	10 -- 10	-
3	8.4613 - 10.576	-
5	5.0770 - 6.3460	-
10	2.5384 - 3.1730	-
20	0.8461 - 1.5865	-
40	0.6346 - 0.7935	-
60	0.4321 - 0.5288	-
80	0.3175 - 0.3969	0.3377 - 0.3691
90	0.2822 - 0.3528	0.3002 - 0.3281
100	0.2540 - 0.3175	0.2702 - 0.2953
110	0.2309 - 0.2886	0.2456 - 0.2684
120	0.2117 - 0.2646	0.2252 - 0.2461
130	0.1954 - 0.2442	0.2078 - 0.2271
140	0.1814 - 0.2268	0.1930 - 0.2109
150	0.1693 - 0.2116	0.1801 - 0.1969
160	0.1587 - 0.1984	0.1689 - 0.1846
170	0.1494 - 0.1868	0.1589 - 0.1737
180	0.1411 - 0.1764	0.1501 - 0.1640
190	0.1337 - 0.1671	0.1422 - 0.1554
200	0.1270 - 0.1587	0.1351 - 0.1476
210	0.1210 - 0.1547	0.1287 - 0.1406
220	0.1155 - 0.1443	0.1228 - 0.1374

ÁCIDOS GRASOS LIBRES EN GRASAS Y ACEITES CRUDAS Y REFINADAS

1. Cristalería y equipo:
 - a. Matraces Erlenmeyer de 250 mL.
2. Reactivos
 - a. Alcohol etílico – 95%. El alcohol debe dar un punto final claro y definido con fenolftaleína y debe ser neutralizado con álcali hasta alcanzar un color rosa tenue pero permanente, justo antes de utilizarlo.
 - b. Solución indicadora de fenolftaleína – 1% en 95% de alcohol.
 - c. Solución de hidróxido de sodio – estandarizada con precisión. Véase la Tabla 1 para la apropiada normalidad de la solución de hidróxido de sodio, dependiendo del rango de concentración de ácidos grasos libres esperados en la muestra.
3. Procedimiento
 - a. Las muestras de ensayo deben estar bien mezcladas y completamente líquidas antes de pesarlas; sin embargo, no caliente la muestra más de 10 °C por encima del punto de fusión.
 - b. Utilice la Figura 57 para determinar el peso de la porción de prueba para varios rangos de ácidos grasos. Pesar el tamaño de muestra designado en una botella para muestras de aceite o en un matraz Erlenmeyer.
 - c. Añadir la cantidad especificada de alcohol neutralizado caliente y 2 mL de indicador.
 - d. Valorar con hidróxido de sodio estándar, agitando enérgicamente hasta la aparición del primer color rosado permanente de la misma intensidad que el del alcohol neutralizado antes de la adición de la muestra. El color debe persistir durante 30 segundos.
4. Cálculos
 - a. El porcentaje de ácidos grasos libres en la mayoría de los tipos de grasas y aceites se calcula como ácido oleico, aunque en los aceites de coco y de palma se expresa frecuentemente como ácido láurico y en el aceite de palma en términos de ácido palmítico.
 - i. Ácidos grasos libres como oleico:
$$\% = \frac{mL \text{ de álcali} * M * 28.2}{masa, g \text{ de la muestra de ensayo}}$$
 - ii. Ácidos grasos libres como láurico:

$$\% = \frac{mL \text{ de álcali} * M * 20.0}{masa, g \text{ de la muestra de ensayo}}$$

iii. Ácidos grasos libres como palmítico:

$$\% = \frac{mL \text{ de álcali} * M * 25.6}{masa, g \text{ de la muestra de ensayo}}$$

- b. Los ácidos grasos libres se expresan frecuentemente en términos de valor ácido en lugar de porcentaje de ácidos grasos libres. Dicho valor ácido se define como el número de miligramos de KOH necesarios para neutralizar 1 g de muestra. Para convertir el porcentaje de ácidos grasos libres (como oleico) en valor ácido, multiplique el porcentaje de ácidos grasos libres por 1.99.

5. Anexos

Figura 57: Rango de ácidos grasos libres, volumen de alcohol y grado alcalino

FFA rango (%)	Porción de muestra (g)	Alcohol (mL)	Grado alcalino
0.00 a 0.2	56.4 ± 0.2	50	0.1 M
0.2 a 1.0	28.2 ± 0.2	50	0.1 M
1.0 a 30.0	7.05 ± 0.05	75	0.25 M
30.0 a 50.0	7.05 ± 0.05	100	0.25 ó 1.0 M
50.0 a 100	3.525 ± 0.001	100	1.0 M

VALOR DE PERÓXIDO, ÁCIDO ACÉTICO, MÉTODO DE ISOOCTANO

1. Cristalería y equipo:

- a. Pipeta de 0.5 mL
- b. Matraces Erlenmeyer de 250 mL
- c. Bureta de 25 o 50 mL, graduada con precisión de 0.1 mL
- d. Temporalizador
- e. Balanza analítica, 500 g de capacidad con ± 0.01 g de sensibilidad

2. Reactivos

- a. Solución de ácido acético-isooctano - 3:2, v/v, preparada mezclando 3 volúmenes de ácido acético glacial de calidad reactiva con 2 volúmenes de isooctano de calidad reactiva.
- b. Solución saturada de yoduro de potasio (KI), preparada fresca cada día, el análisis se realiza disolviendo un exceso de KI en agua destilada recién hervida. Asegúrese de que la solución permanezca saturada durante el uso, indicado por la presencia de cristales de KI no disueltos. Conservar en la oscuridad cuando se encuentre en uso. Realizar prueba a la solución saturada de KI añadiendo 2 gotas de solución de almidón a 0.5 mL de la solución de KI en 30 mL de la solución de ácido acético-isooctano. Si se forma un color azul que requiere más de 1 gota de solución de tiosulfato de sodio 0.1 M para descargarse, deseche la solución de KI y prepare una solución fresca.
- c. Solución de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) – 0.1 M, estandarizada con precisión frente al patrón primario de dicromato potásico de la forma siguiente:
 - i. Solución de tiosulfato de sodio 0.1 M, prepara disolviendo 24.9 g de tiosulfato de sodio en agua destilada y diluyendo hasta 1 L.
 - ii. El patrón primario de dicromato potásico debe molerse finamente, secarse a 105 °C durante 2 h y enfriarse en un desecador. Pesar 0.16-0.22 g de dicromato potásico en un matraz o frasco de 500 mL por diferencia de un frasco de pesado. Disolver en 25 mL de agua, añadir 5 mL de ácido clorhídrico concentrado (35-37%), 20 mL de solución de yoduro potásico (solución al 15%, 15 g de KI en 100 mL de agua) y girar para mezclar. Dejar reposar 5 min y añadir 100 mL de agua destilada. Valorar con solución de tiosulfato sódico, agitando continuamente hasta que el color amarillo casi haya desaparecido. Añadir 1-2 mL de indicador de almidón y continuar la valoración, añadiendo lentamente la solución de tiosulfato

hasta que desaparezca el color azul. La fuerza de la solución de tiosulfato sódico se expresa en términos de su molaridad.

$$\begin{aligned} \text{Molaridad de la solución de } Na_2S_2O_3 \\ = \frac{20.394 * \text{masa de } K_2Cr_2O_7 \text{ (g)}}{\text{ml de solución de tiosulfato de sodio}} \end{aligned}$$

- d. Solución de tiosulfato sódico 0.01 M, estandarizada con precisión. Esta solución puede prepararse pipeteando con precisión 100 mL de tiosulfato sódico 0.1 M en un matraz aforado de 1000 mL y diluyendo con precisión hasta volumen, con agua destilada recién hervida.
 - e. Solución indicadora de almidón, sometido a prueba de sensibilidad. Se prepara haciendo una pasta homogénea de 1 g de almidón y una pequeña cantidad de agua destilada fría. Añadir, sin dejar de agitar, a 200 mL de agua hirviendo y hervir durante unos segundos. Retirar inmediatamente del fuego y dejar enfriar. Puede añadirse ácido salicílico (1.25 g/L) para conservar el indicador. Si se requiere un almacenamiento prolongado, la solución debe conservarse en un refrigerador a una temperatura de 4-10 °C. Debe prepararse un indicador fresco cuando el punto final de la titulación de azul a incoloro no sea nítido. Si se almacena en refrigeración, la solución de almidón debería ser estable durante unas 2-3 semanas.
 - i. Prueba de sensibilidad: Coloque 5 mL de solución de almidón en 100 mL de agua y añada 0.05 mL de solución de KI 0.1M recién preparada y una gota de una solución de cloro de 50 ppm preparada diluyendo 1 mL de una solución comercial de hipoclorito de sodio (NaOCl) al 5% hasta 1000 mL. El color azul intenso producido debe ser descargado por 0.05 mL de tiosulfato sódico 0.1M.
 - f. Dodecil sulfato sódico (SDS) ,< 98%. Preparar una solución al 10% disolviendo 10 g de SDS en 100 mL. de agua.
3. Procedimiento
- a. Pesar la porción de ensayo (Tabla 1) en un matraz Erlenmeyer de 250 ml con tapón de vidrio y añadir 50 mL de la solución 3:2 de ácido acético-isooctano. Agitar para disolver la porción de prueba. Añadir 0.5 mL de solución saturada de KI utilizando una pipeta volumétrica adecuada.

- b. Deje reposar la solución durante 1 minuto, agitándola a fondo al menos tres veces durante el primer minuto, luego añadir inmediatamente 30 ml de agua destilada.
 - c. Valorar con tiosulfato sódico 0.1 M, añadiéndolo gradualmente y con agitación constante y vigorosa. Continuar la valoración hasta que el color amarillo del yodo casi haya desaparecido. Añadir 0.5 mL de SDS al 10% (Reactivos, f), y luego añadir unos 0.5 mL de solución indicadora de almidón. Continuar la valoración con agitación constante, especialmente cerca del punto final, para liberar todo el yodo de la capa de disolvente. Añadir la solución de tiosulfato gota a gota hasta que desaparezca el color azul.
 - d. Realice diariamente una determinación blanco de los reactivos. La valoración blanco no debe exceder de 0.1 mL de la solución de tiosulfato sódico 0.1 M.
4. Cálculos
- a. Índice de peróxido (miliequivalentes de peróxido/1000 g de porción de prueba):

$$\text{Índice de peróxido} = \frac{(S - B) * M * 1000}{\text{masa de la muestra (g)}}$$

Donde:

B = volumen de titulante, mL del blanco.

S = volumen del titulante, mL de la muestra de ensayo.

M = molaridad de la solución de tiosulfato de sodio.

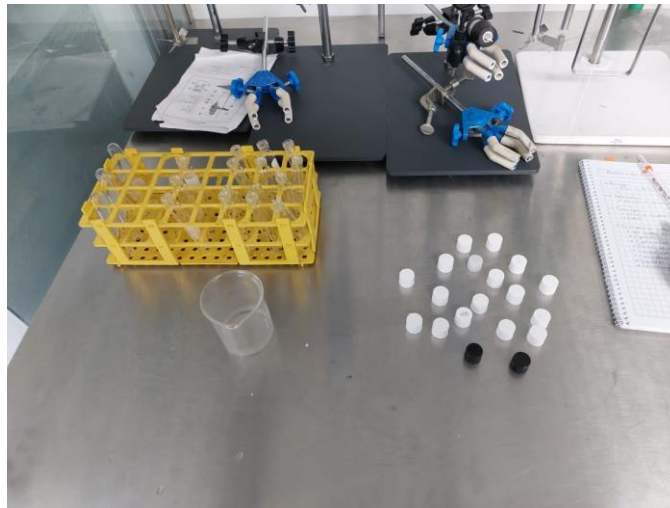
G. ANÁLISIS T VS ρ

Figura 58: Baño térmico ThermoScientific utilizado para el análisis de densidad vs temperatura



Equipo utilizado de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 59: Cristalería utilizada para en análisis de densidad vs temperatura



Cristalería utilizada de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 60: Muestras de aceite de cardamomo analizadas para el análisis de densidad vs temperatura



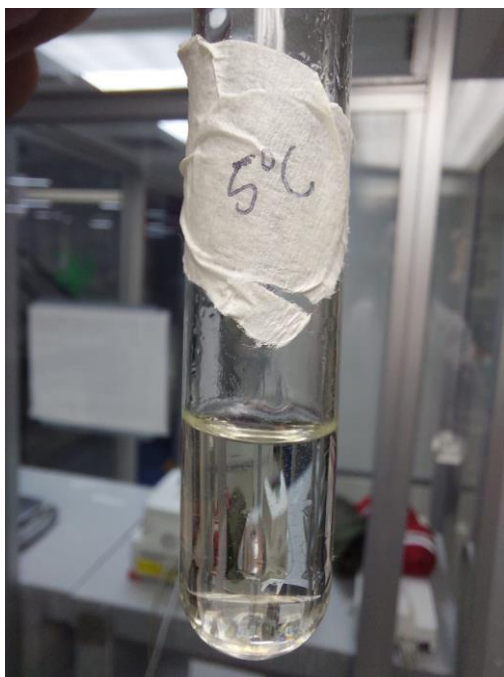
Muestras de aceite obtenidas de la EMPRESA analizadas en la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 61: Metodología de enfriamiento de las muestras en tubos de ensayo



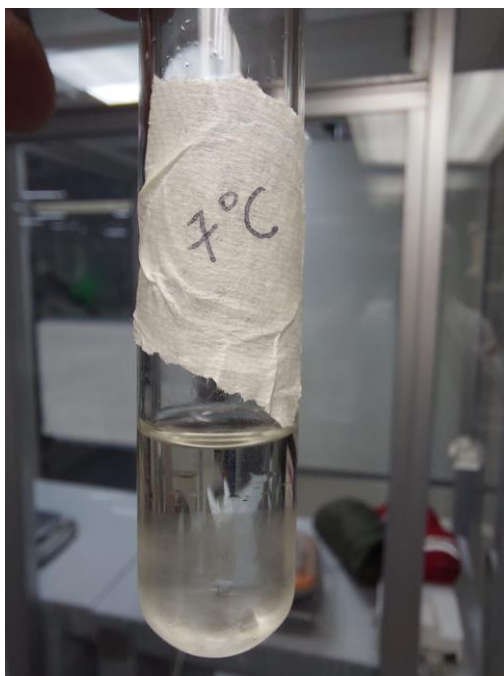
Equipo utilizado de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 62: Muestra de aceite de cardamomo enfriada a 5°C en el baño térmico



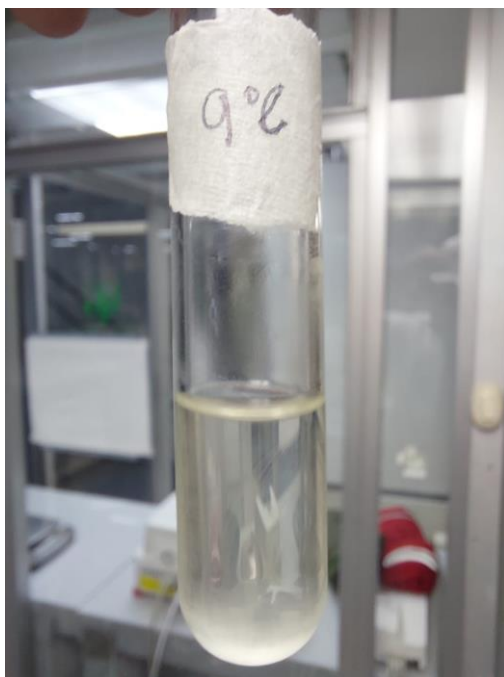
Análisis realizado en la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 63: Muestra de aceite de cardamomo enfriada a 7°C en el baño térmico



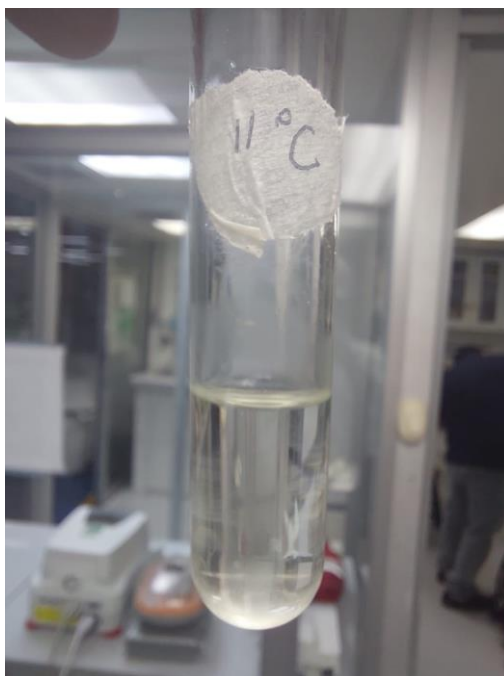
Análisis realizado en la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 64: Muestra de aceite de cardamomo enfriada a 9°C en el baño térmico



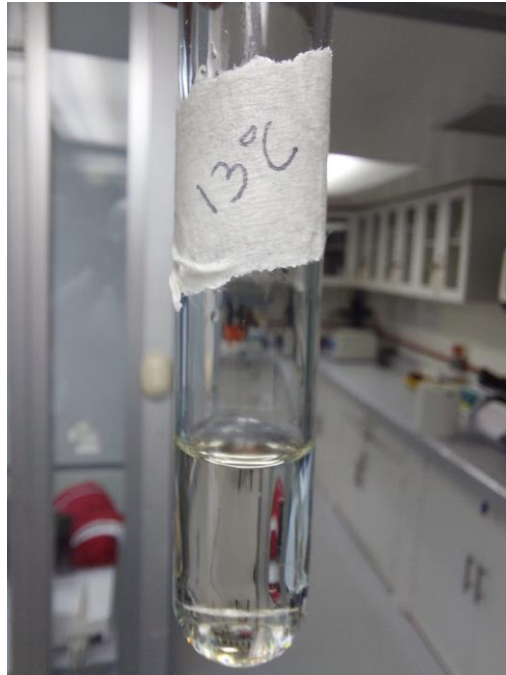
Análisis realizado en la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 65: Muestra de aceite de cardamomo enfriada a 11°C en el baño térmico



Análisis realizado en la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 66: Muestra de aceite de cardamomo enfriada a 13°C en el baño térmico



Análisis realizado en la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 67: Muestra de aceite de cardamomo enfriada a 13°C en el baño térmico



Análisis realizado en la Universidad del Valle de Guatemala.

H. FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS Y HOJAS DE PCC

Cuadro 35: Ficha técnica del refrigerador

ESPECIFICACIÓN DE REFRIGERADOR			Nombre de empresa			
			Número de documento		1	
			Fecha de elaboración			
			Fecha de revisión			
			Revisado por			
	CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	UNIDADES	ID DE EQUIPO			
			F-100			
1	Potencia	kW	-0.44			
2	Rango de temperatura	°C	0-4			
3	Volumen interno	m3	1.79			
4	Voltaje	V				
5	Corriente	A				
6	Tipo de conexión	-				
7	Material	-	SS304			
8						
9						
10						
NOTAS						
1	SS304 = acero inoxidable 304					
2						
3						
4						
5						
6						

Cuadro 36: Ficha técnica de decantador multipropósito

ESPECIFICACIÓN DE DECANTADOR MULTIPROPÓSITO			Nombre de empresa			
			Número de documento		1	
			Fecha de elaboración			
			Fecha de revisión			
			Revisado por			
	CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	UNIDADES	ID DE EQUIPO			
			BT-100			
1	Capacidad	m ³	0.21			
2	Flujo másico	kg/min	15			
3	Caudal	m ³ /min	0.0162			
4	Disposición	-	V			
5	Diámetro	m	0.51			
6	Altura	m	1.02			
7	Material	-	SS316			
8						
9						
10						
NOTAS						
1	V = vertical					
2	SS316 = acero inoxidable 316					
3						
4						
5						
6						

Cuadro 37: Ficha técnica del burbujeador

ESPECIFICACIÓN DE BURBUJEADOR			Nombre de empresa			
			Número de documento		1	
			Fecha de elaboración			
			Fecha de revisión			
			Revisado por			
	CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	UNIDADES	ID DE EQUIPO			
			BT-100			
1	Disposición	-	H			
2	Número de agujeros de burbujeo	-	200			
3	Diámetro de agujeros de burbujeo	mm	3.71			
4	Largo	m	0.4			
5	Diámetro de tubería	m	0.014			
6	Cédula	-	40			
7	Material	-	SS304			
8						
9						
10						
NOTAS						
1	H = horizontal					
2	SS304 = acero inoxidable 304					
3	V = vertical					
4						
5						
6						

Cuadro 38: Ficha técnica del compresor

ESPECIFICACIÓN DE COMPRESOR			Nombre de empresa			
			Número de documento		1	
			Fecha de elaboración			
			Fecha de revisión			
			Revisado por			
	CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	UNIDADES	ID DE EQUIPO			
			C-100			
1	Flujo másico	m ³	0.039			
2	Caudal	m ³ /h				
3	Potencia	kW	0.097			
4	Eficiencia	%	80			
5	Aumento de presión	kPa	10			
6	Material	-	SS304			
7	Razón de compresión	-	1.4			
8						
9						
10						
NOTAS						
1	SS316 = acero inoxidable 304					
2						
3						
4						
5						
6						

Cuadro 39: Ficha técnica de las bombas centrífugas

ESPECIFICACIÓN DE BOMBAS			Nombre de empresa			
			Número de documento		1	
			Fecha de elaboración			
			Fecha de revisión			
			Revisado por			
	CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	UNIDADES	ID DE EQUIPO			
			CP-100	CP-200		
1	Potencia	kW	0.19	0.19		
2	Material	-	SS304	SS304		
3	Flujo másico	kg/h	15	15		
4	Cadual	m3/h	0.97	0.97		
5	Eficiencia	%				
6	Material	-	SS304	SS304		
7						
8						
9						
10		-				
NOTAS						
1	SS304 = Acero inoxidable 304					
2						
3						
4						
5						
6						

Cuadro 40: Hoja de control de Puntos de Control Críticos (PCC)

HOJA DE CONTROL PUNTOS DE CONTROL CRÍTICOS (PCC) TEMPERATURA TIEMPO DE AIREADO AGUA DECANTADA		Nombre de empresa		
		Número de documento		
		Fecha de elaboración		
		Fecha de revisión		
		Revisado por		
1. INFORMACIÓN GLOBAL DEL PROCESO				
ID DEL LOTE		FECHA INICIO/FIN		
TIEMPO DE AIREADO (HH:MM:SS)		AGUA DECANTADA (g)		
‰ EUC INICIO / FINAL		‰ TERP INICIO / FINAL		
2. INFORMACIÓN DETALLADA DEL PROCESO				
No.	HORA	TEMPERATURA	FLUJO DE AIRE (L/min)	ENCARGADO
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
3. PROCESOS REFINADOS				
4. NOTAS				

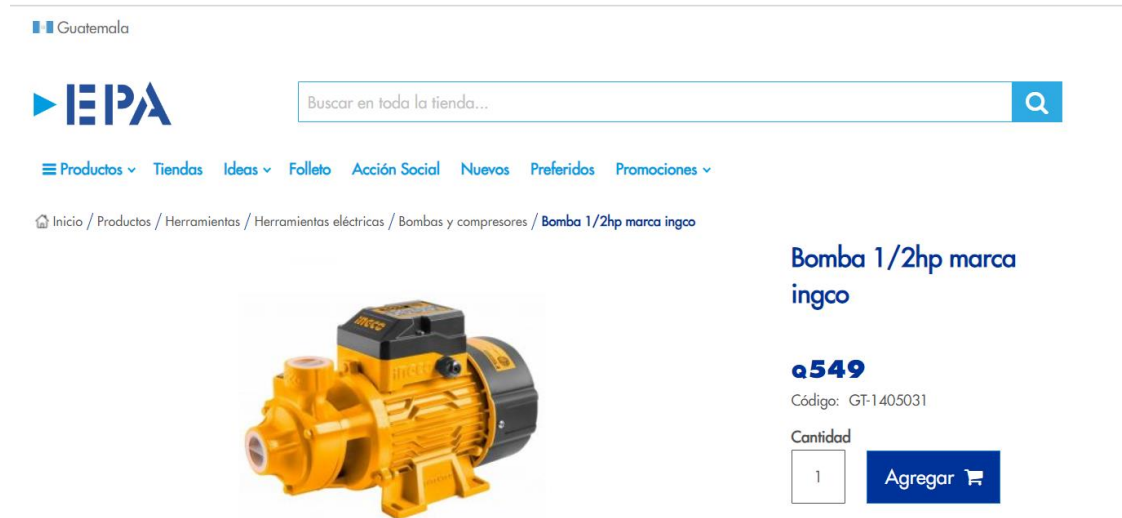
I. COTIZACIONES DE EQUIPOS

Figura 68: Cotización de una bomba centrífuga de 1/2 hp marca Aquastrong



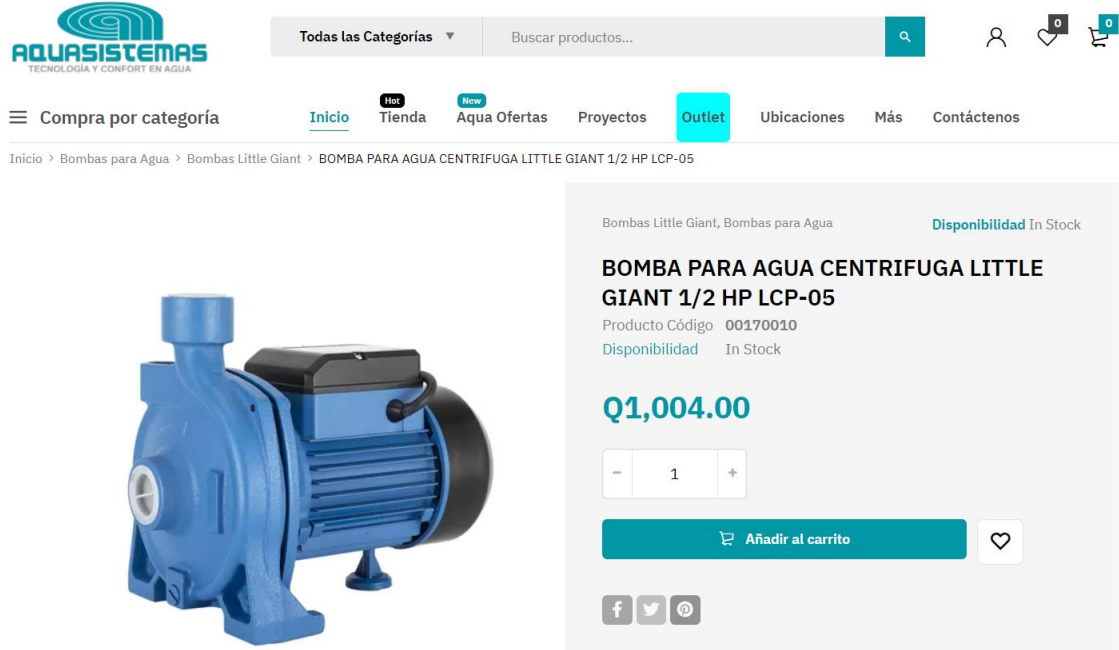
The screenshot shows the NOVEX website interface. At the top, there is a navigation bar with the NOVEX logo, a search bar, and icons for account and cart. Below the navigation bar, there are links for 'Retirar en tienda', 'Envío a domicilio', and 'Rastrear mi pedido'. The main content area features a breadcrumb trail: 'Inicio / Plomería / Bombas y tanques / Bombas / Bombas para cisterna'. The product is displayed with a large image of the pump and a smaller thumbnail below it. To the right of the images, the product details are listed: 'Bomba para cisterna 1/2 hp acero inoxidable', SKU# 170485, Marca AQUASTRONG, Modelo# EJM61C, and a price of Q840.00 PZA. There is a 'Retiro en tienda 2HRS' badge with a checkmark. Below the price, there is a quantity selector set to '1' and two buttons: 'AGREGAR AL CARRITO' and 'VER DISPONIBILIDAD'.

Figura 69: Cotización de una bomba centrífuga de 1/2 hp marca Ingco.



The screenshot shows the I EPA website interface. At the top, there is a navigation bar with the I EPA logo, a search bar, and a list of menu items: 'Productos', 'Tiendas', 'Ideas', 'Folleto', 'Acción Social', 'Nuevos', 'Preferidos', and 'Promociones'. Below the navigation bar, there is a breadcrumb trail: 'Inicio / Productos / Herramientas / Herramientas eléctricas / Bombas y compresores / Bomba 1/2hp marca ingco'. The product is displayed with a large image of the pump. To the right of the image, the product details are listed: 'Bomba 1/2hp marca ingco', 'q549', and 'Código: GT-1405031'. Below the code, there is a 'Cantidad' selector set to '1' and a blue button labeled 'Agregar' with a cart icon.

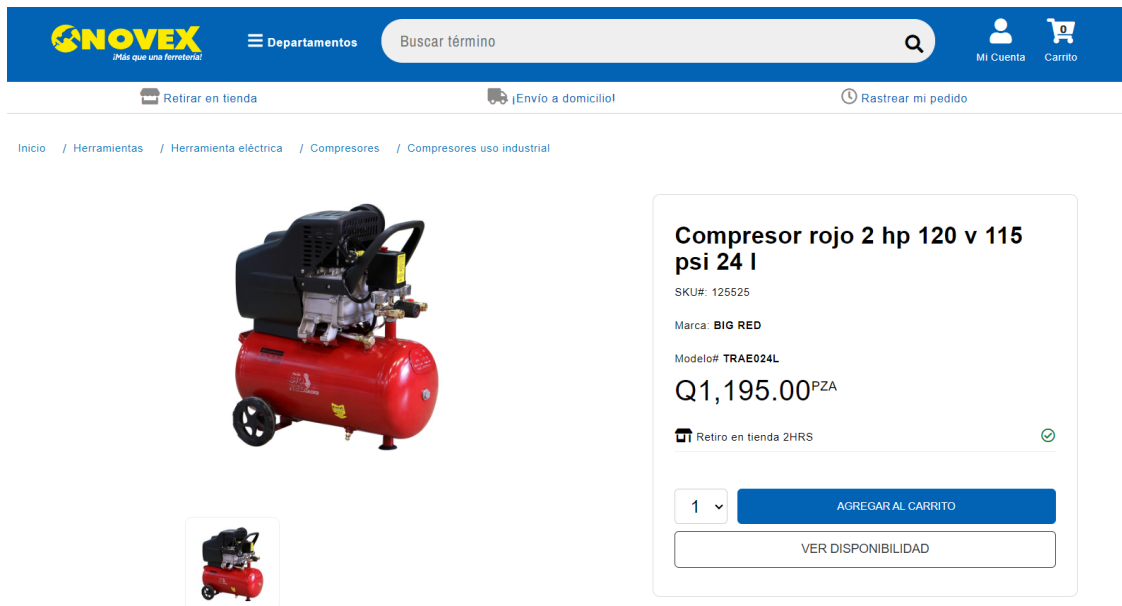
Figura 70: Cotización de una bomba centrífuga de 1/2 hp marca Little Giant



The screenshot shows the Aquasistemas website interface. At the top left is the logo for Aquasistemas, with the tagline "TECNOLOGÍA Y CONFORT EN AGUA". A navigation menu includes "Inicio", "Tienda", "Aqua Ofertas", "Proyectos", "Outlet", "Ubicaciones", "Más", and "Contáctenos". The "Outlet" menu item is highlighted. Below the navigation is a breadcrumb trail: "Inicio > Bombas para Agua > Bombas Little Giant > BOMBA PARA AGUA CENTRIFUGA LITTLE GIANT 1/2 HP LCP-05".

The main product area features a large image of a blue centrifugal pump on the left. On the right, the product details are displayed: "Bombas Little Giant, Bombas para Agua" with a "Disponibilidad In Stock" status. The product name is "BOMBA PARA AGUA CENTRIFUGA LITTLE GIANT 1/2 HP LCP-05". Below the name, it lists "Producto Código 00170010" and "Disponibilidad In Stock". The price is prominently displayed as "Q1,004.00". There is a quantity selector set to "1" and a teal "Añadir al carrito" button. Below the button are social media icons for Facebook, Twitter, and Pinterest.

Figura 71: Cotización de compresor de 2 hp marca Big Red



The screenshot shows the NOVEX website interface. The top navigation bar includes the NOVEX logo with the tagline "¡Más que una ferretería!", "Departamentos", a search bar with "Buscar término", and icons for "Mi Cuenta" and "Carrito". Below the navigation bar are three service options: "Retirar en tienda", "Envío a domicilio", and "Rastrear mi pedido".

The breadcrumb trail reads: "Inicio / Herramientas / Herramienta eléctrica / Compresores / Compresores uso industrial".

The product page features a large image of a red 2 hp compressor on the left. On the right, the product details are displayed: "Compresor rojo 2 hp 120 v 115 psi 24 l". Below the name, it lists "SKU#: 125525", "Marca: BIG RED", and "Modelo# TRAE024L". The price is "Q1,195.00^{PZA}". There is a "Retiro en tienda 2HRS" badge with a checkmark. A quantity selector is set to "1", and there are two buttons: "AGREGAR AL CARRITO" and "VER DISPONIBILIDAD".

Figura 72: Cotización de un compresor de 1 hp marca Truper

TRUPER Introduce código, clave o descripción [Contáctanos](#) [Español](#)

Quiénes somos [Catálogo Nacional 2023](#) [Quiero ser distribuidor](#) [Boletines mensuales](#) [Soporte](#)

Inicio / Herramientas / Compresores y Herramientas Neumáticas / Compresores De Aire / Compresores Libres De Aceite / [Compresor de aire libre de aceite, 12 L, 1 HP \(potencia máx\)](#)



Compresor de aire libre de aceite, 12 L, 1 HP (potencia máx)

TRUPER

Código: 13824 Clave: COMP-12S [Visita la página del catálogo](#)

- Motor monofásico de 1 HP con imanes permanentes y libre de mantenimiento por cambio de aceite
- Presión máxima de operación 100 psi
- Presostato con 2 manómetros (presión máxima del tanque y presión de salida regulable)
- Encendido manual y funcionamiento automático para que el compresor siempre mantenga aire y presión
- Conexión rápida de latón con salida de 1/4"



Pasa el mouse encima de la imagen para aplicar zoom


Figura 73: Cotización de un compresor de 1 hp marca BBT.

MacroCity [Total: Q0](#)

DEPARTAMENTOS [NUEVO](#) [DRONES](#) [TALLER DRONES](#) [HERRAMIENTA](#) [NUEVOS INGRESOS](#) [OFICINA](#) [COMPUTACIÓN](#) [POS](#) [DESTACADOS](#)

Inicio / Herramienta / Compresores de Aire / [Compresor BBT 30 Litros 1HP](#)

Oferta



Compresor BBT 30 Litros 1HP

~~Q2,165~~ **Q1,998**

Encuentra este(a) Compresor BBT 30 Litros 1HP en Macrocity, Tienda en Línea. Lo mejor para tu trabajo, el taller o para el hogar. Despachamos a toda Guatemala.

● Solo quedan 2 disponibles

[Solicita Información](#)

[AÑADIR AL CARRITO](#)

SKU: JB-0.036-8

Categoría: Compresores de Aire





Figura 74: Cotización de un refrigerador de 306 L marca Fogel.

The screenshot shows the Fogel website interface. At the top, the logo 'FOGEL' is on the left, and navigation links 'Sobre nosotros', '¿Dónde Comprar?', 'Soporte', and 'Contáctenos' are on the right. Below the logo, there are category menus: 'REFRIGERADORES', 'CONGELADORES', 'MOSTRADORES REFRIGERADOS', 'MESAS PARA PREPARACIÓN DE ALIMENTOS', 'COFRES', and 'HIELO'. The main content area features a product image of a tall, narrow refrigerator with a glass door. To the right of the image, the product name 'VE-11' is displayed, followed by a description: 'Refrigerador pequeño con diseño esbelto, de una puerta de vidrio.' Below this, technical specifications are listed: 'Número de puertas: 1 de vidrio con bisagras', 'Pies Cúbicos / Litros: 11 / 306', 'Rango temperatura (°C): 0°C - -4°C', 'Dimensiones: Altura: 1.691 mm, Frente: 549 mm, Fondo: 405 mm', and 'Refrigerante: R600a'. At the bottom of the product details, there are buttons for 'COMPARAR', 'DESCARGAR LITERATURA DE PRODUCTO', and '¿DÓNDE COMPRAR?'. Social media sharing icons for Facebook, Twitter, LinkedIn, and Print are also present.

Figura 75: Cotización de tubería galvanizada para aire comprimido

The screenshot shows the NOVEX website interface. The top navigation bar is blue and contains the NOVEX logo with the tagline '¡Más que una ferretería!', a 'Departamentos' menu, a search bar with the placeholder 'Buscar término', and icons for 'Mi Cuenta' and 'Carrito'. Below the navigation bar, there are three service options: 'Retirar en tienda', '¡Envío a domicilio!', and 'Rastrear mi pedido'. The main content area features a product image of a galvanized pipe. To the right of the image, the product name 'Tubo proceso cedula 40 galvanizado de 2 con rosca' is displayed, followed by 'SKU#: 41579' and 'Modelo# SCH40 2"'. The price is listed as 'Q625.00^{PZA}'. Below the price, there is a 'Retiro en tienda 2HRS' badge with a green checkmark. At the bottom of the product details, there is a quantity selector set to '1' and a blue 'AGREGAR AL CARRITO' button. Below the button is a 'VER DISPONIBILIDAD' button. The breadcrumb trail at the bottom of the page reads: 'Inicio / Plomería / Plomerías / Cañería galvanizada y negra / Caño galvanizado y en hierro negro / Caño galvanizado pesado'.


Figura 76: Cotización de tubería de acero inoxidable 304 SCH40 para aceite de cardamomo

Inicio Productos ▾ Tienda 

Registrar entrada [Contáctenos](#)

Productos > **Cédula**
> Tubo redondo cédula 40 en acero inoxidable SS304 A312

Buscar...



Tubo redondo cédula 40 en acero inoxidable SS304 A312

DIÁMETRO

895.00 GTQ

69.0 Unidad(es) **Ofibodegas Fraijanes**
Zona 13: 102.0 Unidad(es)

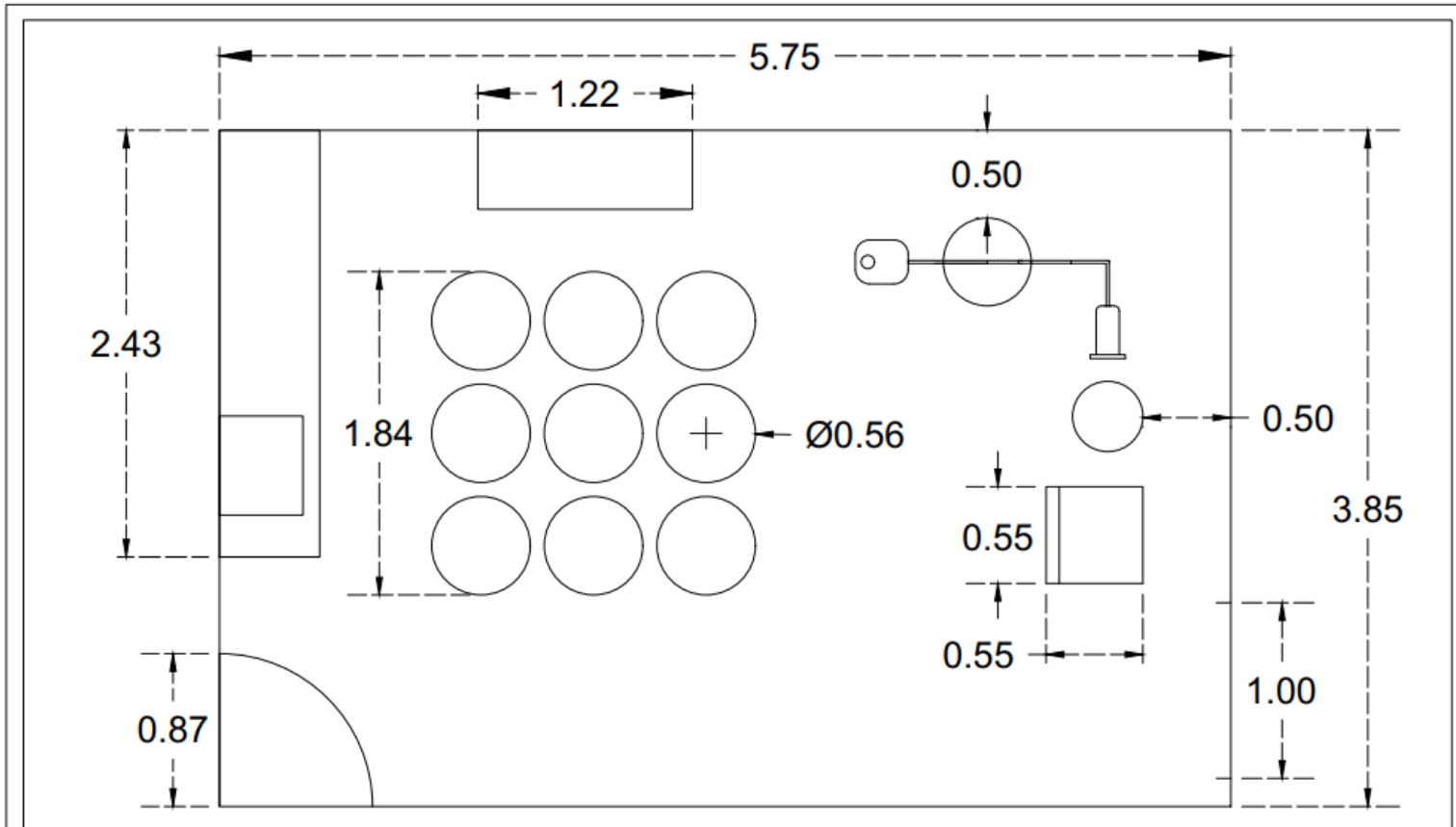
[Add to Cart](#)

Tubo redondo acero inoxidable SS304, ASTM A312 en cedula 40

J. DIAGRAMAS DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS

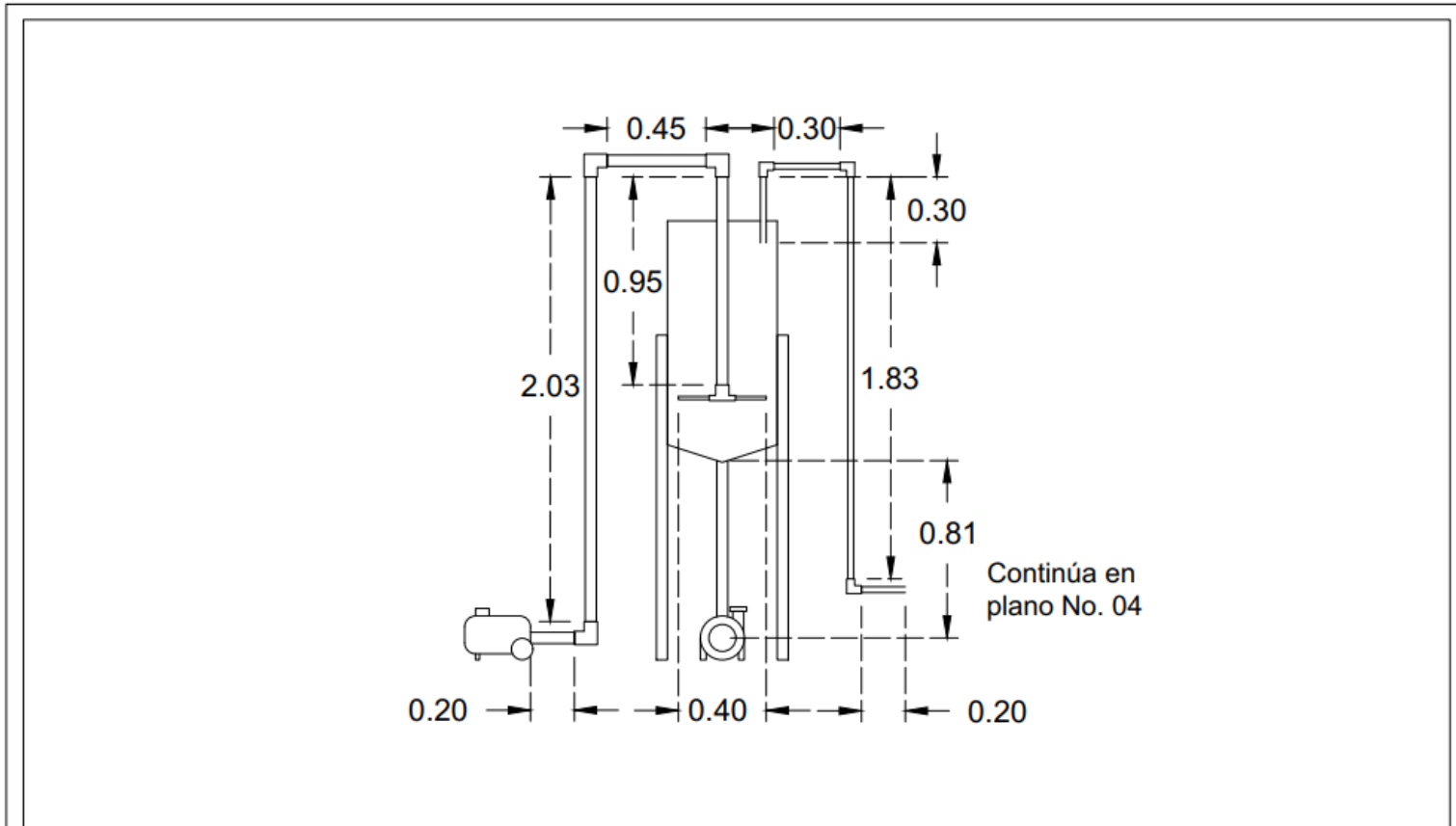
Por cuestión de amplitud, los diagramas de distribución de equipos comienzan en la siguiente página.

Figura 77: Diagrama de área de refinamiento de aceite de cardamomo, vista aérea.



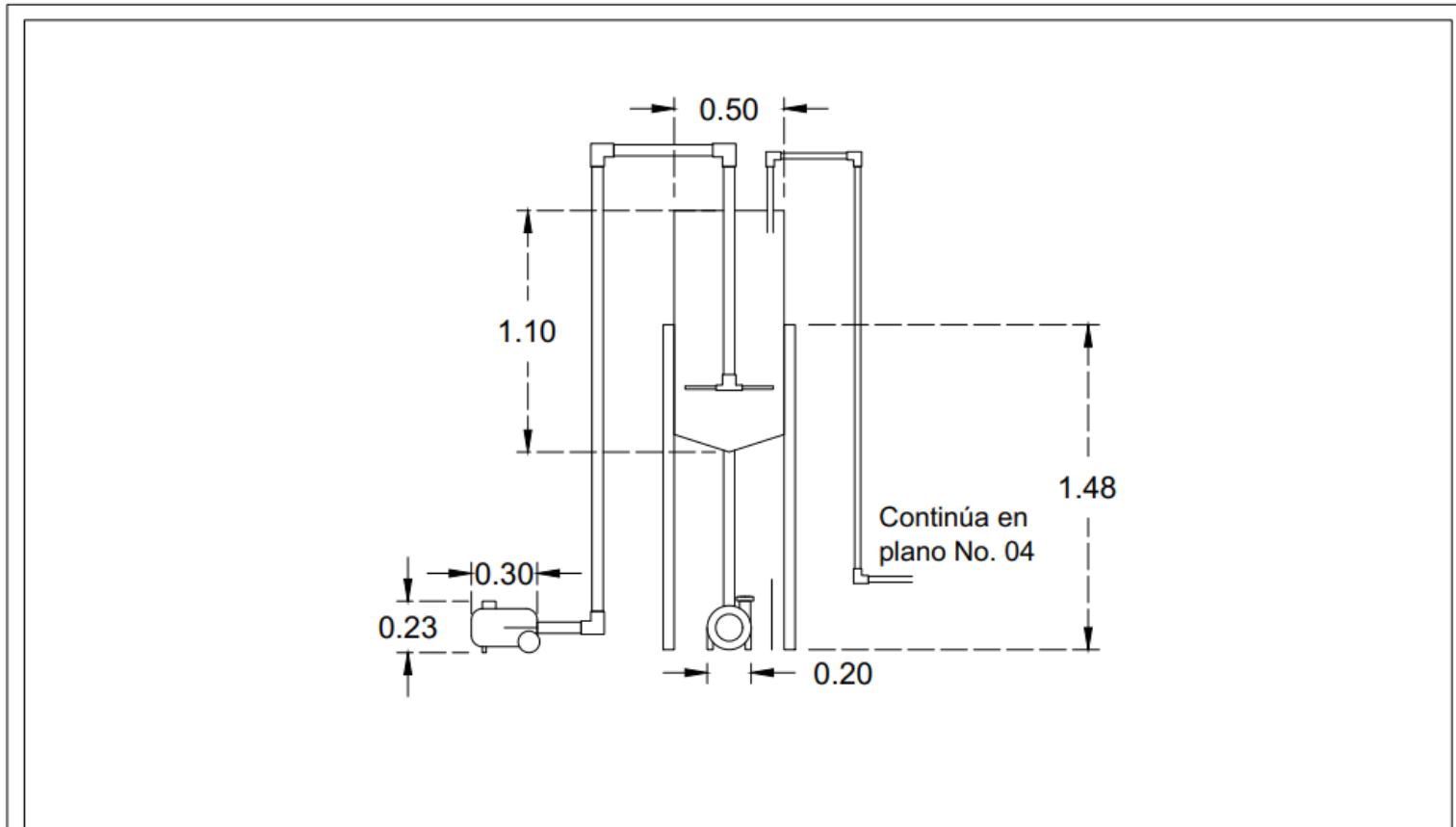
Empresa:	Nombre de diagrama: Área de refinamiento de aceite de cardamomo
Elaborado por: Víctor Orellana	No. de plano: 01
Fecha de elaboración: 20/07/2023	Vista: Aérea
Fecha de aprobación:	Escala: 1:16
	Unidad de medida: Metros

Figura 78: Diagrama de dimensiones de tuberías para tanque multipropósito y compresor, vista frontal.



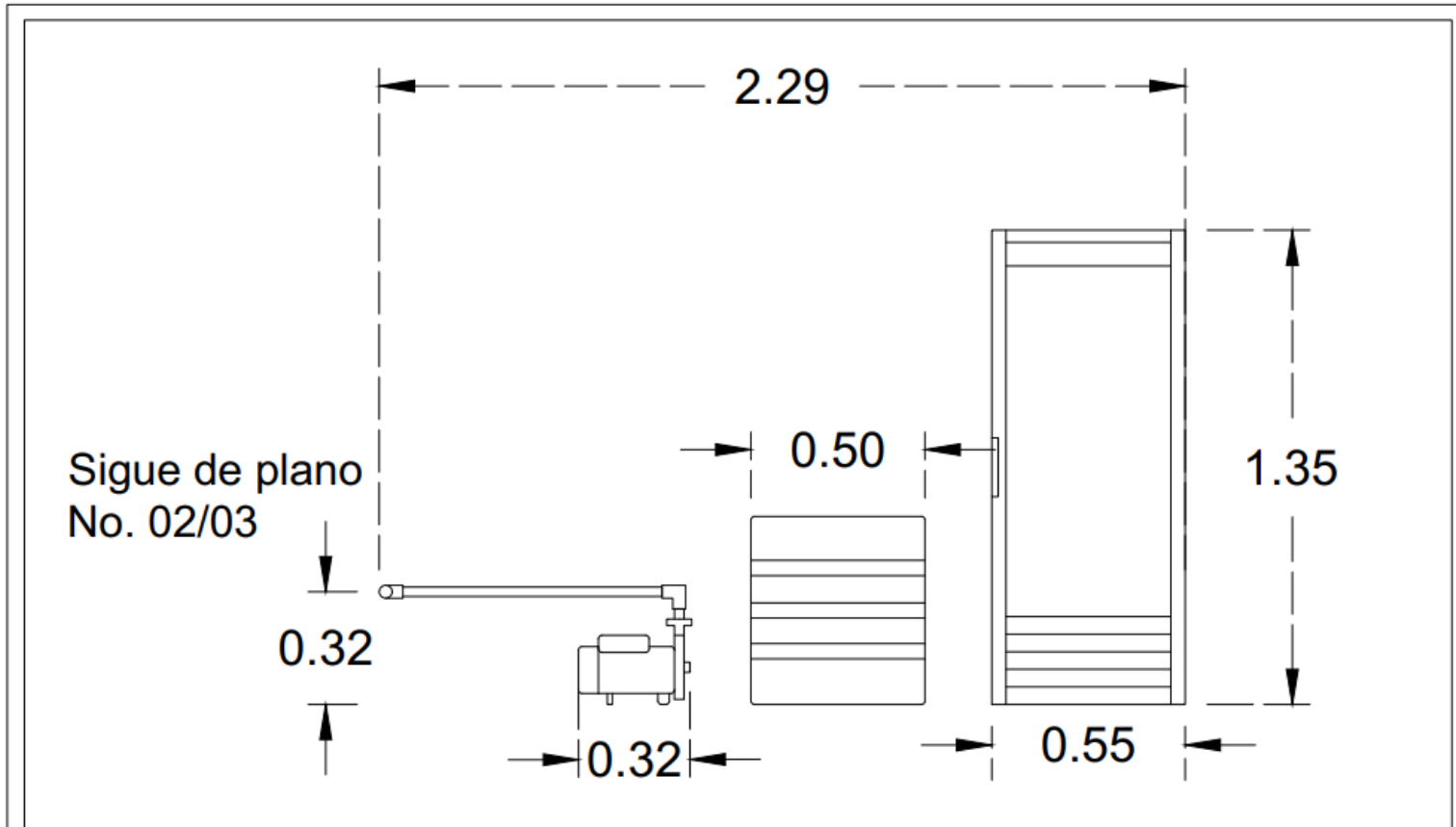
Empresa:	Nombre de diagrama: Dimensiones de tuberías para tanque multipropósito y compresor
Elaborado por: Víctor Orellana	No. de plano: 02
Fecha de elaboración: 20/07/2023	Vista: Frontal
Fecha de aprobación:	Escala: 1:8
	Unidad de medida: Metros

Figura 79: Diagrama de dimensiones para tanque multipropósito y compresor, vista frontal.



Empresa:	Nombre de diagrama: Dimensiones para tanque multipropósito y compresor
Elaborado por: Víctor Orellana	No. de plano: 03
Fecha de elaboración: 20/07/2023	Vista: Frontal
Fecha de aprobación:	Escala: 1:8
	Unidad de medida: Metros

Figura 80: Diagrama de dimensiones de refrigerador, tonel y bomba centrífuga, vista frontal



Empresa:	Nombre de diagrama: Dimensiones de refrigerador, tonel y bomba centrífuga
Elaborado por: Víctor Orellana	No. de plano: 04
Fecha de elaboración: 20/07/2023	Vista: Frontal
Fecha de aprobación:	Escala: 1:5
	Unidad de medida: Metros

K. MANUAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA ISO 9001:2015 AL PROCESO DE REFINAMIENTO DE ACEITE DE CARDAMOMO

El objetivo de este procedimiento es mostrar los pasos a seguir para la implementación de la Normativa Internacional ISO 9001:2015 en la organización de la EMPRESA. La secuencia de los pasos a seguir refleja las etapas que hay que abordar para lograr cumplir con los requisitos de la normativa ya mencionada. Se hace énfasis en las etapas referentes al diseño e implementación del proceso productivo propuesto en este trabajo bajo las directrices establecidas.

1. Capacitación de personal sobre la Norma ISO 9001:2015.

Todos los integrantes de la EMPRESA deberán conocer el documento *International Standard ISO 9001: Quality management systems – Requirements* y familiarizarse con él para poder apoyar en la implementación. Los conocimientos que deben tener para una posterior capacitación formal para auditar la ISO 9001:2015 son:

- Qué son los sistemas de gestión.
- Qué es y función del ciclo PDCA.
- Los 7 principios de la gestión de calidad de la ISO 9000.
- Los requisitos de la ISO 9001 y sus definiciones y términos de gestión de calidad.

Impartir capacitaciones para el personal para dar a conocer la información previamente descrita.

Realizar evaluaciones al personal sobre la información impartida para asegurarse que se comprendió correctamente.

2. Comprensión y compromiso de todas las partes involucradas.

Desde la alta dirección hasta los colaboradores deben comprender que la implementación de un SGC bajo una normativa internacional es trabajo de todos. Todos deben estar comprometidos de igual manera en el proceso. La alta dirección debe estar dispuesta a asignar recursos adecuados y proporcionar el liderazgo necesario.

3. Evaluación inicial.

Realizar una evaluación inicial de la situación actual de la organización en cuanto a calidad. Se debe evaluar el flujo del proceso, condiciones de operación, ambiente de

operación (temperatura, humedad, aprovisionamiento de materiales, despacho de producto terminado, etc), además, se debe evaluar el proceso productivo y estandarizar actividades como: volumen a producir durante un periodo de tiempo, características de materias primas y productos terminados.

4. Establecer el alcance del SGC.

Se deben determinar qué aspectos del proceso de refinamiento y comercialización estarán cubiertos por el SGC. Se deben definir límites.

- Identificar los procesos clave: Son los procesos que están directamente relacionados con la calidad, como producción, diseño, control de calidad, ventas, etc.
- Analizar el contexto: Considera factores que pueden influir en la calidad, como los requisitos legales y reglamentarios, las expectativas de los clientes, competencia, recursos disponibles y partes interesadas relevantes.
- Determinar los límites del SGC: Identificar los productos, servicios o áreas de la organización que estarán incluidos como los límites geográficos, unidades de organización o procesos específicos.
- Considerar las exclusiones: Identificar cualquier requisito o proceso que esté excluido del alcance del SGC. Esto podría deberse a factores como la naturaleza del producto o servicio, la externalización de ciertas actividades, o alguna otra razón justificada.
- Establecer criterios de inclusión: Definir los criterios para determinar si un proceso, producto o servicio debe estar incluido en el alcance, como el impacto en la calidad, la satisfacción del cliente, riesgos asociados o importancia estratégica para la organización.
- Documentar el alcance: Documentar claramente en el manual de calidad u otros documentos relevantes el alcance del SGC para garantizar que todos los miembros de la organización comprendan los límites y la extensión del sistema.

El alcance puede cambiar conforme el paso del tiempo, es importante revisarlo constantemente y actualizarlo si es necesario para asegurarse que siga siendo relevante y aborde las necesidades actuales de calidad de la organización.

5. Realizar un análisis de brechas

- Consiste en comparar el proceso nuevo con los requisitos de la norma (Resultados > Evaluación de propuesta de proceso según la ISO 9001:2015). Los requisitos técnicos de la norma son los detallados en la sección previamente mencionada.

6. Preparación de documentación

- Establecer la política de gestión de calidad
- Establecer los objetivos y metas de calidad
- Determinar el alcance del SGC.
- Determinar el contexto de la organización
- Determinar partes interesadas y sus necesidades y expectativas
- Procedimientos e instrucciones de trabajo
- Identificar y asignar roles y responsabilidades clave

7. Crear un manual de gestión de calidad

- El manual ya existente deberá modificarse para adaptar los cambios realizados al proceso. El manual de calidad debe incluir procedimientos detallados y registros establecidos para la correcta medición de todas las variables del proceso. Cabe recordar las partes principales que debe llevar un manual de calidad:

- Introducción: Una descripción general de la organización, su misión, visión y valores, y una declaración de su compromiso con la calidad.
- Alcance del sistema de gestión de calidad: Una descripción de los productos, servicios o procesos cubiertos por el sistema de gestión de calidad y los límites de su aplicación.
- Referencias normativas: Cualquier norma, estándar o requisito específico al que la organización esté adhiriendo, como la norma ISO 9001.
- Política de calidad: Una declaración formal de la política de calidad de la organización, que establece sus objetivos y enfoques para lograr la satisfacción del cliente y la mejora continua.
- Organización y responsabilidades: Una descripción de la estructura organizativa relevante para el sistema de gestión de calidad, incluyendo roles, responsabilidades y autoridades relacionadas con la calidad.

- Procesos y procedimientos: Una descripción detallada de los principales procesos y procedimientos de la organización, incluyendo la interacción entre ellos y cómo se gestionan para cumplir con los requisitos de calidad.
- Control de documentos: Los métodos utilizados para controlar la creación, revisión, aprobación, distribución y obsolescencia de documentos relacionados con el sistema de gestión de calidad.
- Control de registros: Los procedimientos para identificar, recopilar, almacenar, proteger y retener los registros necesarios para demostrar la conformidad con los requisitos y la eficacia del sistema de gestión de calidad.
- Control de productos y servicios no conformes: Cómo se identifican, controlan y gestionan los productos o servicios que no cumplen con los requisitos especificados, incluyendo acciones correctivas y preventivas.
- Mejora continua: Cómo se promueve la mejora continua dentro de la organización, incluyendo la planificación, implementación y seguimiento de acciones de mejora, así como el uso de datos y retroalimentación para impulsar la innovación y la eficiencia.

Es importante destacar que el manual de calidad debe ser relevante, comprensible y estar actualizado para reflejar con precisión el sistema de gestión de calidad de la organización y sus prácticas.

8. Capacitación sobre las reformas implementadas

- Capacitar al personal sobre la política de calidad, el manual de calidad y los respectivos cambios realizados.
- Evaluar al personal sobre la información impartida.

9. Construcción del proceso propuesto

- Con base en las cotizaciones realizadas, se deben adquirir los materiales y el equipo propuesto, realizar la instalación, calibrar y validar el equipo propuesto mediante una empresa calificada y realizar pruebas de arranque de los equipos antes de realizar una corrida de proceso principal con materia prima.

10. Implementación de los procedimientos de operación establecidos en el manual de calidad.

Es importante mencionar que completar todos los requerimientos de la ISO 9001:2015 la primera vez es muy complicado, por lo que el proceso de implementación debe ser iterativo, aprendiendo de los errores pasados.

- Utilizar el ciclo PDCA (Marco teórico > Normativas de Sistemas de Gestión de Calidad > Introducción a la ISO 9001:2015)
- Obtener retroalimentación del ciclo PDCA.
- Realizar mejoras en las áreas determinadas.

11. Auditorías internas

Se recomienda designar a una persona responsable de las auditorías internas de la empresa (preferentemente una persona capacitada o certificada en el tema) la cual sea capaz de evaluar objetivamente todos los requisitos de la normativa. De esas primeras auditorías deben salir errores cometidos, de los cuales se debe aprender para mejorar cada vez más el SGC.

- Designar persona responsable de auditar el proceso
- Elaborar un formato de checklist que contenga los puntos a evaluar.
- Realizar una auditoría interna
- Recabar información obtenida para mejorar
- Aplicar las mejoras determinadas
- Auditar nuevamente

Repetir este proceso cuantas veces sea necesario para mejorar el SGC al nivel que lo requiera una auditoría de certificación de ISO 9001:2015.

Es importante mencionar también que existen cursos disponibles para acreditarse como auditores de la ISO 9001:2015. La empresa SGS imparte cursos de capacitación²⁸

12. Solicitar auditoría de certificación

Al tener la seguridad de que el SGC está más afianzado en la empresa y entendido y aplicado por todos sus integrantes, se debe solicitar la auditoría de certificación por un organismo certificador (La empresa SGS es un organismo certificador en Guatemala).

²⁸ La referencia de SGS está citada en las Referencias Bibliográficas

Algunas veces tendrán que realizar ajustes luego de la auditoría, la cual se puede repetir en un intervalo aproximado de tres meses después de la primera auditoría.

Ejecución de varias auditorías e implementación de puntos débiles encontrados.
(Conseguir empresas certificadoras de la ISO acá en GT)

13. Implementar procesos de mejora continua.

Algunos ejemplos de métodos para trabajar la mejora continua son:

- Evaluación de implementación de Lean Six-Sigma
- Sistemas Kaisen