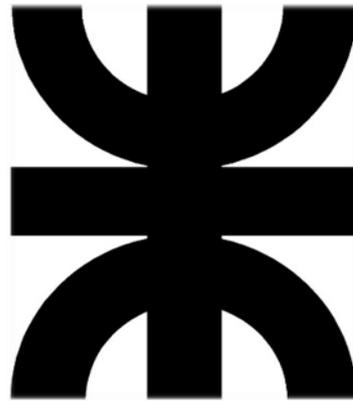


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL



FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA
INGENIERIA QUÍMICA

PROYECTO FINAL

**“PRODUCCIÓN DE
DIMETILDICLOROSILANO”**

Realizado por:

LOPEZ, GUSTAVO
MASSÓN, MELANIA
PEREZ, IGNACIO

VILLA MARÍA, CÓRDOBA

2020



FIRMA DE LOS ALUMNOS:

LOPEZ, GUSTAVO
DNI: 30.383.099
LEGAJO: 5986

FIRMA: _____

MASSÓN. MELANIA
DNI: 31.416.882
LEGAJO: 6508

FIRMA: _____

PEREZ, IGNACIO
DNI: 36.132.186
LEGAJO: 9258

FIRMA: _____

Aceptado por la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María el día ____ del mes de _____ del año 2020.

APROBADA POR SU CONTENIDO Y ESTILO

Presidente del Tribunal: _____

Primer Miembro Vocal: _____

Segundo Miembro Vocal: _____



AGRADECIMIENTOS

Massón, Melania

Detrás de cada línea de llegada, hay una de partida. Detrás de cada logro, hay otro desafío.

Madre Teresa de Calcuta

Las circunstancias de la vida hicieron que mis prioridades se modifiquen, hoy después de transitar la experiencia de la familia y el trabajo llegué a concluir aquello que empecé hace ya un tiempo lleno de expectativas. No fue un camino fácil, pero nunca baje los brazos y doy gracias a cada uno de los que me alentaron seguir.

A mis padres Adriana y Luis que, a través de su amor, paciencia, buenos valores, ayudaron a trazar mi vida.

A mi esposo y mis hijas por ser el apoyo incondicional quienes, con su amor y respaldo, me ayudan alcanzar mis objetivos y por no dejarme rendir cuando creía que ya no podía seguir.

A mi hermano, toda la familia y amigos que me motivaron y acompañaron.

Y por supuesto a la Universidad y a todas las autoridades, por permitirme concluir con una etapa de mi vida, gracias por la paciencia, orientación y guiarme en el desarrollo de este trabajo.

A todos, gracias por haberme acompañado en esta etapa de mi vida.

López, Gustavo

Al pasar el tiempo y el fluir de la vida me fui alejando del objetivo alterando mis prioridades, pero siempre con la meta presente, obtener mi título universitario, contando con el apoyo de diferentes personas puedo decir que lo he logrado, por eso quiero agradecer a cada una de ellas.

Gracias a mi esposa e hijo por darme la fuerza necesaria para continuar y acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, dándome la motivación que necesite cada vez que intentaba bajar los brazos.



Gracias a mis padres y mi hermana por confiar y creer en mí y en mis expectativas, por siempre anhelar lo mejor para mí, gracias por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

A toda mi familia y amigos quienes me apoyaron para llegar a concluir mis estudios.

Finalmente, gracias a la Universidad y todos los docentes quienes me formaron y brindaron sus conocimientos para concluir mi carrera.

A todos, gracias por hacer realidad mi deseo de ser Ingeniero Químico y darle un cierre a esta etapa tan importante en mi vida.

Pérez, Ignacio

“Cada persona que pasa por nuestra vida es única. Siempre deja un poco de sí y se lleva un poco de nosotros”

Jorge Luis Borges

Quiero agradecer a mis padres Claudia y José por brindarme la educación más importante, la que se da en el hogar. Por transmitirme los valores que me moldearon como persona, por el esfuerzo que hicieron para que yo pudiera estudiar y sobre todo por su amor e incondicionalidad.

A mi familia en general, abuelos, tíos, primos, de los que no recibí mas que apoyo y aliento. A mis amigos, a los de antes, a los de ahora y a los de siempre, por estar ahí cada vez que los necesité.

Por último, pero no me menos importante, quiero agradecer a la Facultad Regional UTN Villa María y a todo el cuerpo docente que la conforma, sobre todo a aquellos que se han transformado en mis amigos y hasta el día de hoy me siguen enseñando.

A todos ustedes, gracias de corazón.



ÍNDICE

CAPÍTULO 1	16
INTRODUCCIÓN	16
Objetivos	17
CAPÍTULO 2	18
PRODUCTO Y MATERIA PRIMA.....	18
2.1 Historia del Silicio, principal materia prima del proceso.	18
2.2 Silicio: la base de las siliconas.....	19
2.3 Silicona.....	22
2.3.1 Fórmula de la silicona	22
2.3.2 Alternativas de obtención de polidimetilsiloxano	24
2.4 Propiedades y Aplicaciones.....	25
CAPÍTULO 3	28
ESTUDIO DE MERCADO	28
3.1 Enfoque del Estudio de Mercado.....	28
3.2 Consumo.....	28
3.2.1 Consumo Mundial	28
3.2.2 Principal Importadores	30
3.2.3 Principales Exportadores	31
3.2.4 Consumo Nacional.....	32
3.2.5 Evolución del consumo	33
3.3 Producción	36
1.3.1 Presentación y costo del producto.	36
3.3.2 Productores	36
3.3.3 Distribuidores.....	37
3.3.4 Determinación del volumen de producción.....	37
3.3.5 Producción Nacional	37
3.3.6 Producción del caucho sintético.....	38



3.4 Evolución del precio	41
1.4.1 Evolución del precio del caucho de silicona	41
3.5 MATERIAS PRIMAS.....	42
3.5.1 Disponibilidad y proveedores	42
3.5.1.1 Cobre	43
3.6 Análisis FODA	45
3.7 Conclusión del análisis FODA	45
CAPÍTULO 4	46
CAPACIDAD PRODUCTIVA	46
4.1 Capacidad productiva de la planta.....	46
4.2 Determinación de la demanda insatisfecha	48
4.3 CONCLUSIÓN.....	50
CAPÍTULO 5	51
PROCESO DE OBTENCIÓN	51
5.1 Proceso industrial.....	51
5.1.1 Método directo o de Rochow.....	51
5.1.2 Método de Grignard.	54
5.2 Evaluación de métodos. Ventajas y desventajas.	55
5.3 Mecanismo de las Reacciones.	56
5.4 Nuevas concepciones.....	59
5.5 Hipótesis de Klevansky y Trambonze:	60
5.6 Productos obtenidos.....	62
5.7 Catalizador	62
5.8 Preparación de metilclorosilanos	64
5.8.1 A partir de silicio comercial.....	64
5.8.2 Desde aleación Cobre- Silicio:	64
5.8.3 Mezcla de Silicio y Cobre reducido:	65
5.8.4 Desde una mezcla sinterizada de silicio y cobre:	66
5.9 Función de los Promotores.....	66
5.10 Optima conversión del silicio y selectividad.	67



5.11 Masa de contacto.....	68
CAPÍTULO 6	69
LOCALIZACIÓN.....	69
6.1 Localización de la Planta.....	69
6.1.1 Macro localización	69
6.1.2 Micro localización.....	70
6.1.3 Justificación del orden de prioridades	73
6.2 Descripción de la localización.....	77
CAPÍTULO 7	79
BALANCE DE MASA Y ENERGÍA	79
7.1 Balance de masa y energía.....	79
7.2 Balance de Masa General:	80
7.2.1 Balance de masa en el reactor (R-01).....	81
7.2.2 Balance de masa en el condensador (CF-02)	83
7.2.3 Balance de masa en el mezclador estático (ME-03)	85
7.2.4 Balance de masa en la columna de destilación (D-04).....	86
7.3 BALANCE DE ENERGÍA.....	88
7.3.1 Datos para el balance de energía	88
7.3.2 Reactor (R-01)	90
7.3.2.1 Desarrollo de los cálculos:.....	90
7.3.3 Recuperador de calor (RC-05)	91
7.3.4 Condensador (CF-02)	91
7.3.5 Calentador pre-reactor (CR-06)	92
7.3.6 Calentador para el aceite (CA-07).....	92
7.3.7 Columna de destilación (D-04).....	93
CAPÍTULO 8	94
DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS	94
8.1 Introducción.....	94
8.2 Diseño	95
7.2.1 Dosificador de tornillo sin fin (T-08).....	95



8.2.2 Reactor catalítico de lecho fijo (R-01)	96
8.2.2.1 Parámetros cinéticos	96
8.2.3 Diseño del reactor lecho fijo	98
8.2.4 Calentador pre-reactor (CR-06)	100
8.2.5 Calentador de aceite térmico CA-07	101
8.2.6 Intercambiador de calor (recuperador de calor RC-05)	102
8.2.7 Mezclador de gases (ME-03)	103
8.2.7.1 Funcionamiento	103
8.2.8 Condensador (CF-02)	104
7.2.9 Separador Flash (SF-16)	105
8.2.10 Torre de destilación (D-04).....	106
8.2.11 Rehervidor torre de destilación (RD-10).....	107
8.2.12 Condensador torre de destilación (CD-09)	108
8.3 Adopción de bombas de proceso	109
8.3.1 Procedimiento de cálculos para la adopción de bombas	110
8.3.1.1 Pérdidas de carga del sistema	110
8.3.1.2 Altura de impulsión neta	110
8.3.1.3 Potencia real de la bomba	111
8.3.1.4 Altura neta de succión positiva disponible (NSPH Disponible)..	111
8.3.2 Características de las diferentes líneas de bombeo	111
8.3.2 Descripción de las bombas seleccionadas	112
8.4 Cálculo de la capacidad y cantidad de tanques requeridos	113
8.4.1 Tanque de almacenamiento de DDS (TKP-14)	113
8.4.1.1 Características del tanque adoptado	114
8.4.2 Tanque de almacenamiento mezcla de silanos (TKS-13)	115
8.4.2.1 Características del tanque adoptado	115
8.5 Tanque de almacenamiento de mezcla de residuos de silanos (TKR-15).....	116
8.5.1 Características del tanque adoptado.....	116
8.6 Cilindros de almacenamiento de Cloruro de Metilo.....	117
8.6.1 Características del tanque adoptado.....	118



CAPÍTULO 9	119
SERVICIOS AUXILIARES	119
9.1 Introducción.....	119
9.2 Agua de enfriamiento.....	119
9.3 Adopción de torre de enfriamiento	120
9.4 Agua corriente y de proceso	121
9.5 Tanque de almacenamiento para pérdidas en torres de enfriamiento.....	122
9.6 Tanque de agua para usos generales	123
9.7 Vapor para calentamiento.....	123
9.7.1 Vapor	123
9.7.2 Adopción de la caldera de vapor	124
9.7.3 Dimensiones de tuberías de distribución de vapor	125
9.7.4 Pérdida de calor en la red	126
9.7.5 Retorno de condensados	126
9.7.6 Sistema de distribución	127
9.7.7 Trampas de vapor.....	128
9.7.8 Sistema de bombeo de la caldera	128
9.7.9 Ablandador automático de agua Twin	129
9.8 Gas.....	130
9.9 Sistema de calentamiento con fluido térmico	131
9.9.1 Diseño del sistema de calentamiento.....	131
9.9.2 Tipos de aceites o líquidos térmicos	132
9.9.3 Calentador de aceite térmico	133
CAPÍTULO 10	136
CONTROL DE CALIDAD.....	136
10.1 Introducción.....	136
10.2 Control de calidad de materias primas.....	136
10.3 Control de calidad durante el proceso productivo	137
10.3.1 Reacción.....	138
10.3.2 Control en el condensador	138



10.3.3 Control durante la destilación.....	139
10.4 Control producto final.....	139
10.4.1 Procedimiento de control de producto no conforme	140
10.5 Técnicas analíticas	141
10.5.1 Densidad Silicio	141
10.5.2 Densidad CH ₃ Cl - ASTM D-4052	141
10.5.3 Humedad por Karl Fischer CH ₃ Cl – ASTM E-1064.....	142
10.5.4 Acidez del CH ₃ Cl.....	145
10.5.5 Color CH ₃ Cl – ASTM D-1209	146
10.5.6 Aspecto CH ₃ Cl – ASTM D-4670.....	147
CAPÍTULO 11	149
OBRAS CIVILES	149
11.1 Descripción general.....	149
11.2 Descripción de los sectores.....	150
11.2.1 Nave industrial	150
11.2.1.1 Sector de Equipos	150
11.2.1.2 Sector de Almacenamiento y despacho.....	151
11.2.1.3 Sector de laboratorio	151
11.2.1.4 Taller de mantenimiento	152
11.2.1.5 Sala de caldera	153
11.2.1.6 Vestuarios, Baños, Comedor.....	154
11.2.2 Oficinas administrativas	154
CAPÍTULO 12	156
INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	156
12.1 Introducción.....	156
12.2 Características generales	156
12.2.1 Sistema eléctrico.....	156
12.2.2 Tableros.....	156
12.2.3 Tablero principal	157
12.2.4 Tableros seccionales	157



12.2.5 Bocas para alumbrado y tomacorrientes	159
12.2.6 Protección	159
12.2.7 Protección contra descargas eléctricas	160
12.3 Servicio de energía eléctrica.....	160
12.3.1 Cálculo de luminarias y de consumo de potencia de equipos	161
12.3.1.1 Iluminación interior	161
12.3.1.2 Iluminación exterior	167
12.4 Consumo de potencia de los equipos	169
CAPÍTULO 13	170
SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL	170
13.1 Introducción.....	170
13.2 Legislación industrial	170
13.3 Política de higiene y seguridad	170
13.3.1 Gestión de higiene y seguridad.....	171
13.3.2 Estructura del departamento de higiene y seguridad.....	172
13.3.3 Responsabilidades del departamento de higiene y seguridad.....	172
13.3.4 Seguridad en el diseño	172
13.4 Proceso	172
13.4.1 Diseño de equipos	173
13.5 Obras civiles y estructurales	174
13.6 Electricidad.....	175
13.6.1 Protección contra incendios	175
13.7 Seguridad en la construcción de la planta	176
13.7.1 Seguridad en los propios trabajos de construcción	176
13.7.2 Seguridad y control de calidad en la construcción.....	176
13.8 Seguridad en la puesta en marcha	177
13.9 Seguridad en la operación.....	177
13.10 Seguridad en el mantenimiento	177
13.11 Seguridad en prevención, defensa y actuación.....	178
13.12 Orden y limpieza.....	179



13.13 Señalización	179
13.14 Protección colectiva.....	189
13.15 Protección individual.....	192
13.16 Selección y capacitación	200
13.17 Servicio de medicina laboral	201
13.18 Parada de planta	202
13.19 Procedimiento de extinción.....	202
13.20 Plan de emergencia y evacuación	204
13.21 Sistema de alarma.....	205
13.22 Seguridad medioambiental	205
13.23 Política medioambiental.....	206
13.23.1 Residuos sólidos.....	206
13.23.2 Efluentes líquidos.....	207
13.23.3 Emisiones gaseosas	207
13.24 Datasheet's	208
13.25 Sustancias de proceso	208
CAPÍTULO 14	209
ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA	209
14.1 Introducción.....	209
14.2 Tipo de sociedad comercial	209
14.2.1 Trámites de constitución de la Sociedad Anónima.....	210
14.2.2 Trámites para la puesta en funcionamiento de la empresa.	211
14.2.3 Elección de la forma jurídica de la empresa.....	211
14.3 Estructura de la organización	212
14.3.1 Tipo de organización.....	212
14.3.2 Organigrama.....	212
14.3.3 Distribución del personal.....	213
14.4 Mano de obra requerida	213
14.4.1 Funciones del personal	215
14.5 Programación de la producción y turnos de trabajo	218



CAPÍTULO 15	220
ESTUDIO ECONOMICO – FINANCIERO	220
15.1 Introducción.....	220
15.2 Inversión total	221
15.3 Activos fijos	222
15.3.1 Obras Civiles.....	222
15.3.2 Equipos industriales, auxiliares y accesorios	223
15.3.3 Mobiliario y elementos de oficina	225
15.3.4 Resumen de los Activos Fijos	226
15.4 Activos nominales.....	227
15.4.1 Supervisión del proyecto.....	227
15.4.2 Capacitación	227
15.4.3 Automatización de la planta	228
15.4.4 Ingeniería del proyecto.....	228
15.4.5 Montaje e instalación de equipos	228
15.4.6 Puesta en marcha de la planta.....	228
15.4.7 Resumen de los activos nominales	228
15.5 Capital de trabajo	229
15.6 Inversión total del proyecto.....	231
15.7 Costos totales de producción.....	232
15.8 Costos directos de producción.....	234
15.8.1 Materia Prima.....	234
15.8.2 Insumos	234
15.8.3 Servicios auxiliares	235
15.8.4 Mano de obra directa	235
15.8.5 Resumen de costo directo de producción	236
15.9 Costo indirecto de producción	237
15.9.1 Mano de obra indirecta	237
15.9.2 Mantenimiento y limpieza de la planta	238
15.9.3 Resumen de los costos indirectos de la producción	239



15.10 Costos fijos indirectos.....	240
15.10.1 Amortizaciones y depreciaciones.....	240
15.10.2 Seguros e impuestos.....	241
15.10.3 Resumen de los costos fijos indirectos.....	242
15.11 Costo generales.....	243
15.12 Costos de producción unitarios del DDS producido.....	244
15.13 Ingreso por ventas.....	245
15.14 Financiación del proyecto.....	246
15.15 Evaluación económica.....	247
15.16 Estado de resultados.....	248
15.17 Indicadores.....	251
15.17.1 Valor Actual Neto (VAN).....	251
15.17.2 Periodo de recuperación de la inversión realizada.....	251
15.17.3 Tasa Interna de Retorno (TIR).....	252
15.17.4 Relación Beneficio/Costo.....	253
15.18 Análisis de sensibilidad.....	253
15.18.1 Variación de la TIR con el precio de venta.....	254
15.18.2 Variación de la TIR con el costo de la materia prima.....	254
15.18.3 Variación de la TIR con el volumen de ventas.....	255
15.18.4 Variación de la TIR con respecto a la mano de obra.....	256
15.19 Conclusiones del análisis económico - financiero.....	256
CONCLUSIONES.....	258
ANEXO I.....	259
Propiedades fisicoquímicas de las materias primas y productos.....	259
Silicio.....	259
Cloruro de Metilo.....	262
Productos Comerciales.....	264
ANEXO II.....	265
Cálculos de las capacidades caloríficas, Cp.....	265
BIBLIOGRAFÍA.....	273



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Villa María



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se analiza la factibilidad técnico-económica de instalar una planta de elaboración de dimetildiclorosilano, utilizando el método de producción que se considere más apropiado, con el fin de obtener un producto competitivo en cuanto a precio y calidad.

Se analiza la situación del mercado nacional e internacional en forma global, obteniendo a partir de los datos actuales, estimaciones de las tendencias futuras de producción, consumo y precios tanto de la materia prima como del producto, lo que posibilita la toma de las decisiones más adecuadas a cerca de la manera de llevar a cabo el proyecto en cuanto a la ubicación de la planta, los mercados proveedores y consumidores, e incluso, la cantidad de producto a elaborar.

Uno de los mercados más importante de aplicación del dimetildiclorosilano es la elaboración del caucho de siliconas. En la última década, las exportaciones e importaciones a nivel nacional, de caucho y plástico han mostrado una evolución bastante pareja a la observada en el conjunto del comercio mundial de mercancías. De esta manera, el peso de este sector en el comercio mundial se ha mantenido relativamente estable. A nivel nacional hay podemos encontrar un mercado en crecimiento tanto en la producción del caucho como así también en industrias productoras de adhesivos, masillas, impermeabilizantes y selladores que consumen dimetildiclorosilano.

Posteriormente, se determina la localización de la planta productora de dimetildiclorosilano, analizando los factores que inciden sobre todo en carácter económico lo cual permite optimizar la producción.

A partir del proceso de producción elegido considerando las ventajas y desventajas, se realiza el diseño de la planta de producción. Teniendo en cuenta, factores como demanda, materia prima, y tecnología disponible, se determina la capacidad instalada para satisfacer la demanda del producto.



Por último, se realiza un estudio económico-financiero que permitirá evaluar la viabilidad económica del proyecto elegido.

Objetivos

Determinar la viabilidad técnico-económica de un proyecto de inversión para la instalación de una planta de obtención de Dimetildiclorosilano en Argentina.

Realizar un estudio de mercado que contribuya a tomar decisiones acertadas; teniendo en cuenta su evolución a largo plazo.

Analizar los diferentes procesos de producción de dimetildiclorosilano a fin de seleccionar el método más conveniente y adecuarlo a las condiciones de producción.

Establecer la capacidad óptima de producción analizando la demanda y las limitaciones de la planta.

Evaluar la ubicación óptima de la planta de producción teniendo en cuenta la proximidad a proveedores y clientes.

Efectuar los balances de masa y energía correspondiente del proceso, incluyendo los servicios auxiliares.

Desarrollar un análisis económico-financiero estableciendo la inversión inicial necesaria, la TIR y el VAN del proyecto.



CAPÍTULO 2

PRODUCTO Y MATERIA PRIMA

2.1 Historia del Silicio, principal materia prima del proceso.

En 1823, el químico sueco Jöns Jakob Berzelius, basándose en la hipótesis del francés Lavoisier, demostró la estructura de la sílice aislando el silicio. Obtuvo silicio amorfo mediante la reducción de dióxido de silicio con carbono en presencia de hierro. Cuando añadió ácido clorhídrico para separar el hierro, en la mezcla de reacción se descubrió la presencia de silicio en forma de polvo. Durante mucho tiempo, la principal producción de trozos de silicio metálico se utilizó por el alto punto de fusión de 1410°C . No fue hasta el descubrimiento y uso generalizado de la electricidad cuando fue posible un proceso económico para su fabricación. A pesar de estas dificultades, una serie de químicos estaban investigando la química del silicio en el siglo XIX. Ellos tenían la esperanza de desarrollar una química del silicio para competir con la del carbono. Esto interesó a algunos investigadores a estudiar este nuevo elemento y durante el siguiente medio siglo, se hicieron numerosos descubrimientos: Berzelius obtuvo el tetracloruro de silicio SiCl_4 y el alemán Wohler el "SilicioCloroformo" SiHCl_3 ; el francés Friedel y el americano Crafts preparaban entre 1863 y 1866 los primeros compuestos de silicio-carbono por reacción del zinc dietilo $\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ sobre el tetracloruro de silicio (SiCl_4).

En 1872 el alemán Landenburg es el primero en observar la formación de un fluido de polisiloxano hidrolizado.

A principios del siglo XX el químico inglés FS Kipping empezó un estudio sistemático del silicio que le llevó más de 40 años. Sintetizó un gran número de compuestos de Si-C que no se producen naturalmente. Sus productos eran productos resinosos que no cristalizaban y no destilaban. Y así se sintetizó la primera silicona.

Fue en la década de los años 30, donde los rusos Dolgov y Andrianov, relacionaron estos productos, el enlace Si-O-Si de los silicatos que acababan de ser descubiertos en química mineral, y las macromoléculas que ya habían cobrado importancia para la química orgánica. Pero no supieron llegar más lejos y 10 años más tarde en EE. UU. se comenzó a investigar y probar las características de siliconas para materiales bélicos.



El interés inicial se centró en la fabricación de una goma de protección de los equipos eléctricos contra las chispas que se producen en los aviones. A partir de entonces, ya no se detuvo la investigación de las siliconas y el objetivo fue incorporar determinados grupos orgánicos para ampliar la gama de las aplicaciones de las siliconas.

2.2 Silicio: la base de las siliconas

El silicio es el elemento más abundante en la Tierra, después del oxígeno ya que constituye el 26% de la corteza terrestre. A pesar de que es mucho más abundante que el carbono (que representa el 0,087%), no juega ningún papel importante en el mundo animado de las biomoléculas. En el diagrama circular siguiente se muestra la abundancia de los elementos en la corteza de la Tierra:

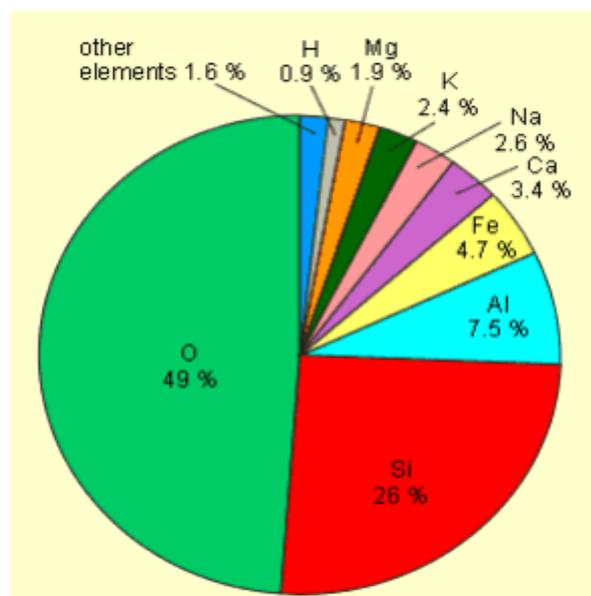


Figura 1: Disponibilidad de elementos químicos en la tierra.

Fuente: Información bibliográfica

El Silicio es un elemento químico metaloide (también se dice semimetal), es decir, que a veces actúa como metal y otras veces como no metal. Su número atómico es el 14 y está situado en el grupo IV-A de la tabla periódica de los elementos (ver Figura 1). Forma parte



de la familia del carbono y su símbolo es Si. El silicio tiene nueve isótopos, con número másico entre 25 a 33. El isótopo más abundante es el Si-28 con una abundancia del 92,23%. Este elemento tiene forma amorfa y cristalina. Normalmente en la naturaleza, no se encuentra en su forma elemental, sino que aparece combinado con el elemento más abundante, es decir, el oxígeno, con el cual forman principalmente óxidos o silicatos. El conjunto básico de construcción de los silicatos es el tetraedro SiO_4^{4-} . El enlace Si-O en la estructura SiO_4^{4-} es mitad covalente y mitad iónico. Se crean grandes fuerzas de enlace dentro del tetraedro SiO_4^{4-} , y como resultado las unidades de SiO_4^{4-} se encuentran normalmente unidas vértice con vértice, y raramente arista con arista. El número de compuestos naturales de silicio es inferior comparado con los compuestos de carbono. Esto se debe a la reactividad y a la síntesis química de los compuestos de silicio que no se parecen a los de carbono.

14	28,086
	4
2680 1410 2,33	Si
	(Ne)3s²3p²
	Silicio

Elemento: Silicio
Símbolo: Si
Número atómico: 14
Masa molecular: 28,086
Punto de ebullición: 2680
Punto de fusión: 1410
Densidad: 2,33
Valencia: 4
Configuración electrónica: (Ne) 3s² 3p²

Figura 2: Elemento químico Silicio. Fuente: Tabla periódica.

Todos los compuestos de silicio tienen una unidad tetraédrica estructural que consiste en un silicio unido a cuatro átomos de oxígeno tal como se observa en la siguiente figura:

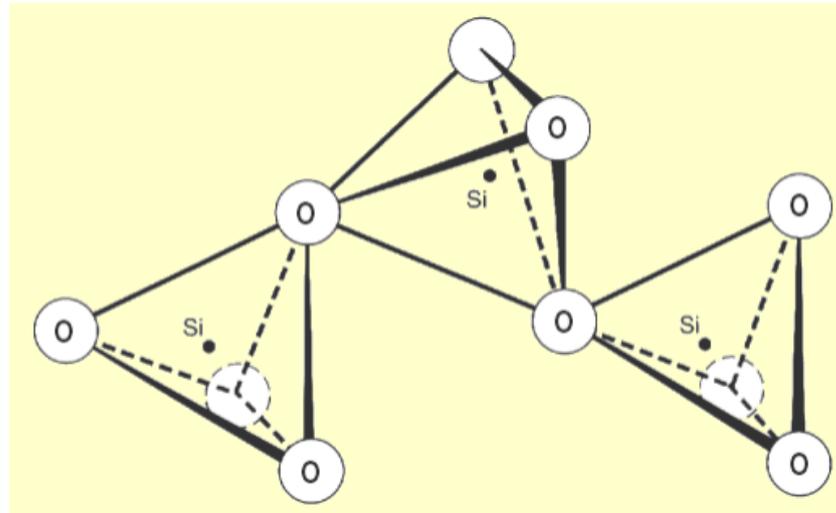


Figura 3: Estructura del Silicio. Fuente: información bibliográfica

La búsqueda de materiales para el desarrollo de nuevos productos y procesos, la mejora de los existentes y el desarrollo de nuevas aplicaciones para productos ya existentes parecen haber afianzado su objetivo con el hallazgo de la silicona.

El silicio se utiliza en la preparación de la materia prima para las siliconas, en la industria de la cerámica técnica y, debido a que es un material semiconductor, tiene un interés especial en la industria electrónica y microelectrónica como material básico para la creación de chips que se pueden implantar en transistores, pilas solares y una gran variedad de circuitos electrónicos.

El proyecto en cuestión se restringe a la producción del dimetildiclorosilano que es el componente básico específico necesario para la posterior hidrólisis en la obtención de las siliconas.

A continuación, se detallan las características como así también la importancia que presentan las siliconas en la industria.



2.3 Silicona

La silicona es un conjunto de polímeros fabricados por el hombre. Estos polímeros son inorgánicos, es decir, que en su cadena principal no contienen átomos de carbono. La cadena está formada por átomos de silicio y de oxígeno intercalados entre sí. Cada silicio tiene dos grupos unidos a él, los cuales pueden ser grupos orgánicos; por lo tanto, se componen de los elementos Si, O, C y H. Todos los compuestos se basan en una estructura tetraédrica en la que el silicio está rodeado por átomos de oxígeno y radicales orgánicos. Su rendimiento versátil se debe a la estructura química y a su variedad de formas.

El nombre apropiado para las siliconas es “polisiloxano”, aunque muchos químicos la conocen como “polidiorganosilano”. Una de las siliconas más comunes es el “polidimetilsiloxano”:

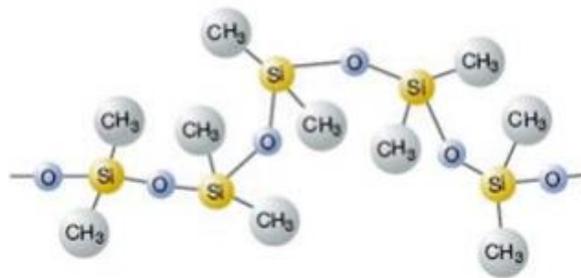


Figura 4: Polímero de silicona. Fuente: información bibliográfica

2.3.1 Fórmula de la silicona

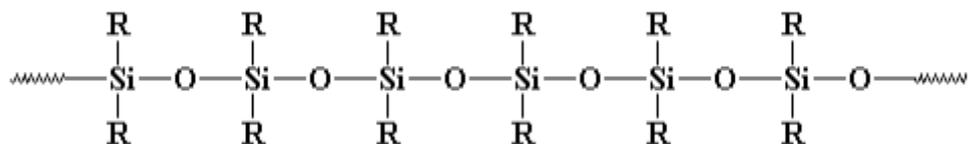


Figura 5: Fórmula de la silicona

Químicamente se distinguen cuatro unidades estructurales diferentes:

- Unidades monofuncionales: permiten la interrupción de la cadena.
- Unidades difuncionales: forman la columna vertebral de las cadenas macromoleculares y los compuestos cíclicos.



- Unidades trifuncionales: producen moléculas ramificadas y forman las bases de resinas.
- Unidades tetrafuncionales: dan lugar a estructuras reticuladas, es decir, con forma de red similares a los silicatos.

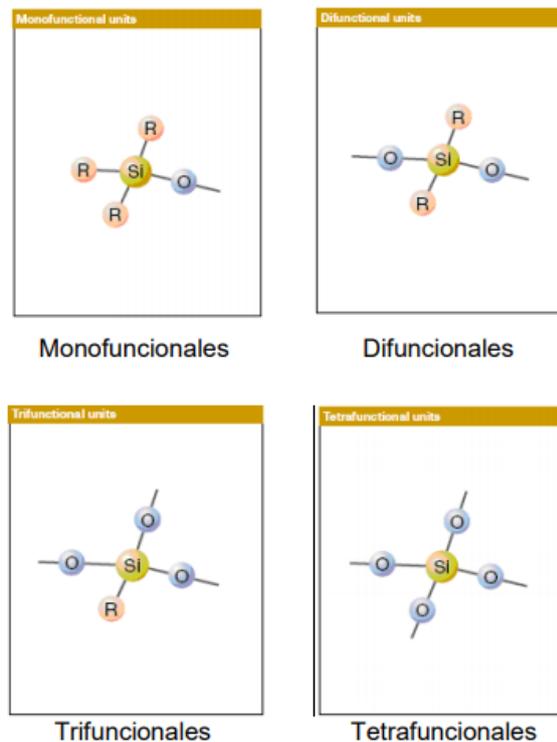


Figura 6: Grupos funcionales

Los grupos metilo pueden girar libremente alrededor de la cadena de $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$. En lugar de los grupos metil se pueden unir otros radicales orgánicos diferentes a la columna vertebral de silicio-oxígeno. Esto explica las distintas propiedades diferentes de las siliconas (resina de silicona, caucho de silicona).

Las siliconas pueden ser elastómeras y aceites lubricantes. Elastómero significa simplemente "caucho". Entre los polímeros que son elastómeros se encuentran hidrocarburos como el polisopreno o caucho natural, el polibutadieno, el polisobutileno, y los poliuretanos. La particularidad que destaca a los elastómeros es su facilidad para rebotar y que pueden ser estirados hasta muchas veces su propia longitud, para luego recuperar su forma original sin una deformación permanente.



Los enlaces entre un átomo de silicio y los dos átomos de oxígeno unidos, son altamente flexibles. El ángulo formado por estos enlaces puede abrirse y cerrarse como si fuera una tijera, sin demasiados problemas. Esto hace que toda la cadena principal sea flexible.

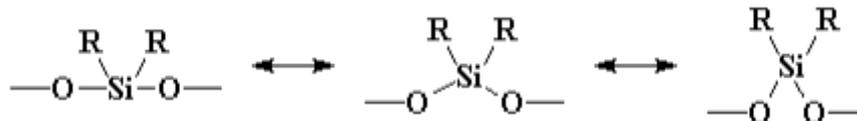


Figura 7: Flexibilidad del enlace Si-O

2.3.2 Alternativas de obtención de polidimetilsiloxano

Para obtener siliconas se tiene que llegar primero a los silanoles, los cuales se forman a partir de silicio, halógeno y alquilo. Los silanoles, por ejemplo $(\text{CH}_3)_3\text{Si}(\text{OH})$, $(\text{CH}_3)_2\text{Si}(\text{OH})_2$, se forman por hidrólisis de los correspondientes metilclorosilanos $(\text{CH}_3)_3\text{SiCl}$, $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$.

El alquilclorosilano se puede obtener por dos procesos diferentes, a continuación, se detallan brevemente cada uno de ellos, en un capítulo posterior se desarrollarán con mayor detenimiento.

- **Proceso Directo o de Rochow-Müller:** En este método se hace reaccionar silicio finamente pulverizado con cloruro de metilo. La reacción se lleva a cabo a 300°C y en presencia de polvo de cobre, que actúa como catalizador. Los productos de la reacción, junto con cloruro de metilo que no ha reaccionado, pasan a una serie de condensadores y columnas de destilación, en las que se separa el cloruro de metilo para ser usado de nuevo.
- **Proceso de Grignard:** Las materias primas para este proceso son: tetracloruro de silicio, virutas de magnesio metálico, el haluro de alquilo o arilo apropiado, y éter como disolvente. Es esencial que los productos estén absolutamente secos antes de añadirlos al reactor, porque la presencia de vestigios de agua altera las reacciones.



El magnesio, perfectamente limpio, se añade sobre el éter seco en el recipiente de reacción. Si lo que se va a preparar es triclorofenilsilano, se agrega monoclorobenceno, hasta que se consume el magnesio en la formación de cloruro de fenilmagnesio. Esta suspensión se pasa a otro recipiente parecido, que contiene una disolución de tetracloruro de silicio en éter seco. Aquí, el cloruro de fenilmagnesio reacciona con el tetracloruro de silicio, para dar triclorofenilsilano. El cloruro magnésico se separa filtrando la suspensión, y el filtrado se destila, para separar el triclorofenilsilano del éter.

Después de obtener los polidimetilsiloxanos, ya sea por proceso directo o por proceso de Grignard, por destilación fraccionada, pueden convertirse en polímeros. El tipo de polímero dependerá de la composición de la mezcla inicial de clorosilanos, de las condiciones de la hidrólisis y del grado de "equilibrio". Para hacer una determinada silicona, se mezclan cuidadosamente varios clorosilanos en las proporciones adecuadas.

2.4 Propiedades y Aplicaciones

Las principales propiedades de las siliconas son las siguientes:

- Resistentes a temperaturas extremas (-60° a 250°C).
- Resistentes a la intemperie, ozono, radiación y humedad.
- Son hidrófobas, es decir, repelen el agua.
- Resistentes a la deformación.
- Buenas propiedades dieléctricas, lo que les conlleva a ser buenos aislantes.
- Compatibles con el medio ambiente.
- Puntos de fusión bajos.
- Temperaturas de descomposición bajas.
- Fisiológicamente inerte y no tóxica.

La silicona como macromolécula de características orgánicas e inorgánicas, combina un conjunto de propiedades únicas y privilegiadas. Su naturaleza inorgánica le confiere resistencia térmica y química, su naturaleza orgánica le otorga la versatilidad del plástico



Los sectores de la industria han sido capaces de reconocer las virtudes diferenciales de este material. Esto se demuestra en la amplitud crecientes de ramas de la industria que incorporan en su proceso a este extraordinario polímero, alcanzando de esta manera la innovación y calidad que hasta hace pocos años hubiera sido difícil creer.

La silicona tiene aplicación bajo tres grupos principales:

1. **Aceites de Silicona:** Cadenas lineales de polidimetilsiloxano cuyo peso molecular puede alcanzar los 2000.
2. **Resinas de Silicona:** Cadenas bidimensionales de polidimetilsiloxano más o menos entrecruzadas.
3. **Cauchos o Elastómeros:** Cadenas lineales de polidimetilsiloxano que se vulcanizan por oxidación entrecruzada con peróxidos orgánicos, alcanzando pesos moleculares medios del orden de 300000 a 4000000.

El límite del mercado consumidor de silicona es difícil de imaginar. Su uso favorece los productos de las siguientes industrias.

- **Automotriz:** adhesivos, materiales aislantes, lubricante, materiales de protección electrónica, materiales para sellado de juntas, fluidos para transferencia de torque.
- **De la construcción:** se aplica en la industria constructora debido a las propiedades hidrofóbicas y de durabilidad.
- **Química y Manufacturera:** soluciones de silicona, adhesivos, selladores, desmoldante, artículos para altas temperaturas, masillas, impermeabilizantes.
- **De productos de limpieza:** Detergentes, jabones para la ropa, productos de limpieza para pisos e inodoros, limpiadores específicos para la industria y el hogar.
- **Eléctrica:** cobertura aislante de alto voltaje, aislante de caucho de silicona, pegamentos y lubricantes para equipos de mantenimiento y reparación, cables, mangueras.
- **Plástica y de revestimiento:** pinturas, barnices, tintas y adhesivos de resina de silicona, se oxidan superficialmente, otorgando durabilidad ante rayos ultravioletas,



resistiendo altas temperaturas, son impermeables. Favorece las propiedades superficiales del producto terminado.

- **Electrónica:** geles dieléctricos, cápsulas, adhesivos y coberturas de circuitos.
- **Alimenticia:** mejora los procesos y las operaciones de empaque de alimentos. Desde el control de la espuma en baños acuosos hasta la producción de materiales de envases en contacto con el alimento.
- **De la salud:** en procesos para óptica, en implantes y prótesis en el ámbito de la medicina.
- **Ensamblajes y Mantenimiento industrial:** desmoldante, adhesivos, juntas, burletes, masillas.
- **De imagen y equipamiento tecnológico:** en equipamientos de publicidad y marketing, como aditivos de silicona, fluidos especiales de alta consistencia y caucho líquido, otorgan durabilidad.
- **Papelera:** terminados superficiales para otorgar impermeabilidad.
- **Cosmética:** se emplea en productos para el cabello y la piel, sales de baño, desodorantes.



CAPÍTULO 3

ESTUDIO DE MERCADO

3.1 Enfoque del Estudio de Mercado

Este estudio de mercado se ha enfocado casi específicamente al análisis de la producción y consumo de silicona en el área del caucho de silicona de uso industrial. El enfoque hacia el mercado del caucho de silicona se basa en que esta área es la que mayor dimetildiclorosilano consume.

Bajo este análisis solo se está dejando a un margen el campo de aplicación en la medicina y cosmetología, pero sin olvidar que estas áreas, junto con otras más pequeñas, conforman también una demanda considerable.

3.2 Consumo

3.2.1 Consumo Mundial

Como con la mayor parte de la industria química, el mercado del caucho de silicona fue golpeado por la crisis/recesión global económica durante 2008/2009. Corrientemente, la recuperación es más rápida en China que en otros países asiáticos. China se hizo el líder mundial en el consumo de caucho de silicona en 2019, alcanzando a Norteamérica. Las adiciones de capacidad enormes de China, unidas con la demanda aumentada en la industria, levantaron su consumo al más alto en el mundo.

En el año 2019 se produjeron y consumieron a nivel mundial 15 millones de toneladas de este, lo que representa un incremento del 6% frente al año 2018. Tal como lo determinó el estudio realizado por la International Rubber Study Group (IRSG). Para el 2025 la IRSG estima una demanda a nivel mundial de 15.540.000 toneladas, lo que representa un crecimiento del 3,6% como consecuencia de la alta demanda en regiones como China, India, América Central y América del Sur, Central y Europa del Este (incluyendo Rusia), y otros países asiáticos.

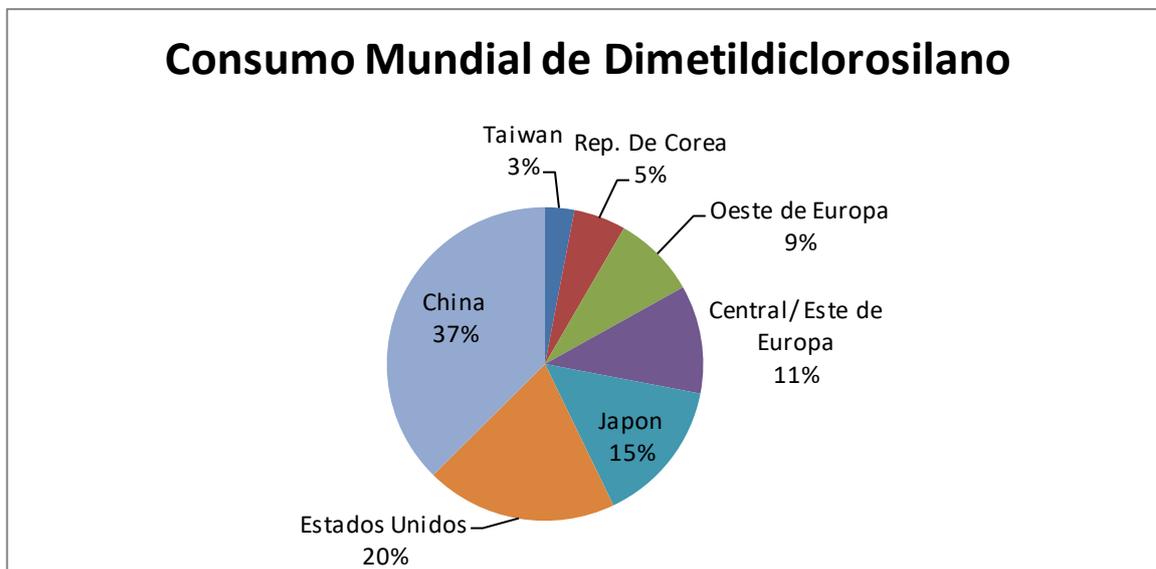


Figura 1: Consumo Mundial de Dimetildiclorosilano.

Fuente: Dimetildiclorosilano. www.sacvage.com

En la última década, las exportaciones de caucho y plástico han mostrado una evolución bastante pareja a la observada en el conjunto del comercio mundial de mercancías. De esta manera, el peso de este sector en el comercio mundial se ha mantenido relativamente estable 2,4% en 2012, figura 3.



Figura 2



Figura 3



Fuente: CHELEM. Código ISIC REV 3.1: 25.1 (Industria del caucho) y 25.2 (Productos de plástico).

3.2.2 Principal Importadores

Los datos de importación y exportación del dimetildiclorosilano, se extrajeron de la base de datos del sitio web scavage.com

Se observa en la tabla 1 para el año 2014 que los principales abastecedores para satisfacer la demanda nacional de dimetildiclorosilano son Brasil, siendo éste el más importante y el mayor productor de América Latina con el 70%, seguido por Estados Unidos con el 20%. De los demás países llegan pequeñas cantidades, pero con un alto precio de importación FOB en dólares.

Tabla 1: Lugar de procedencia y cantidad de Dimetildiclorosilano. Fuente: "Dimetildiclorosilano" www.sacvage.com

Lugar de procedencia	Cantidad (kg)
Brasil	18.337.702,40
Estados Unidos	4.656.166,48
Taiwán	426.240,50
Italia	98.362,00
Bélgica	129.846,00
Japón	76.260,96
China, República Popular de	47.420,20
Chile	36.434,22
Hong Kong	12.600,00
Colombia	8.108,00

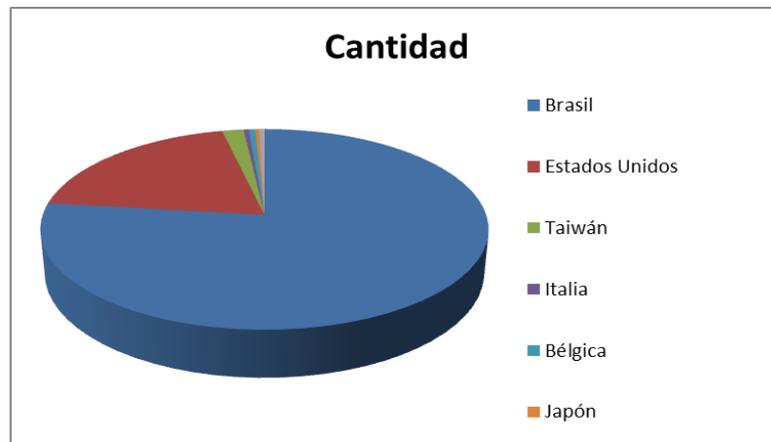


Figura 2: Lugar de procedencia y cantidad de Dimetildiclorosilano.
Fuente: “Dimetildiclorosilano”www.sacvage.com

3.2.3 Principales Exportadores

En la tabla 2 se presentan las exportaciones de dimetildiclorosilano por países, y se puede apreciar que Brasil y Estados Unidos abastecen el 70% de la producción mundial; lo que origina una cierta inestabilidad en el mercado por circunstancias políticas y económicas de estos países, a este factor se le debe añadir la fuerte tendencia de industrializar la producción, que existe en países asiáticos.

Lugar de procedencia	Cantidad (kg)
Brasil	11.688,12
Alemania	730,00
China	604,92
Estados Unidos	1.280,00
Colombia	42,04
México	70,00

Tabla 2: Principales exportadores de Dimetildiclorosilano. Fuente: “Dimetildiclorosilano” – www.sacvage.com

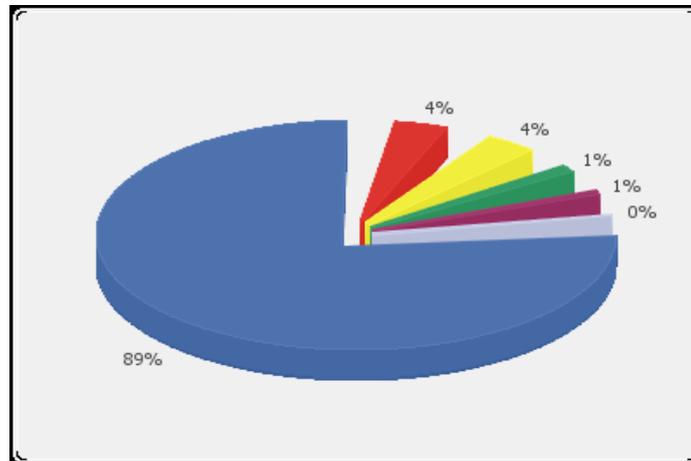


Gráfico 3: Principales exportadores de Dimetildiclorosilano.
Fuente: “Dimetildiclorosilano” – www.sacvage.com

3.2.4 Consumo Nacional

Los principales consumidores de dimetildiclorosilano son los productores de caucho de silicona.

Algunas empresas son:

- ARGENSOLD.
- COMPAÑIA INDUSTRIAL DEL CAUCHO.
- NODULO S.A
- CINTAGOM.
- SILICON ARGENTINA S.R.L.
- SILKEMIA S.A
- MEGA INDUSTRIAL
- PLASTIGOMM FÁBRICA.
- RAHOLIN SILICONAS.
- ELNORNEL S.A
- ARCOTEC S.R.L.



El Dimetildiclorosilano es representado en este trabajo por el caucho sintético. Para una planta mediana con una capacidad de producción de 2190 t/año, el consumo de polidimetilsiloxano es de 1752 t/año (80% del peso del producto). El número de industrias que consumen el polidimetilsiloxano es aproximadamente de 50 plantas en todo el territorio nacional. Por lo tanto, un cálculo estimativo arroja a un consumo nacional de entre 87600 y 91250 t/año de dimetildiclorosilano.

Si bien en este análisis se está dejando a un margen las industrias de productos de silicona diferentes al caucho, no se debe dejar de considerar o al menos mencionar, su importante demanda. Las industrias productoras de adhesivos, masillas, impermeabilizantes y selladores consumen, por planta aproximadamente 18250 litros/año de dimetildiclorosilano o lo que es equivalente a 30417 litros/año.

3.2.5 Evolución del consumo

A continuación, se muestran los datos estadísticos de caucho sintético en base al consumo nacional. Se usaron los datos de consumo de caucho sintético ya que se relaciona en forma directa con el consumo del monómero.



Tabla 3: Importaciones del producto caucho sintético.

Período	Cantidad (kg)	Valor FOB (USD)	Flete (USD)	CIF (USD)	Peso neto
2014	195.430,00	582.719,57	24.538,66	610.793,60	195.430,00
2013	82.400,00	260.317,57	6.029,75	268.736,14	82.400,00
2012	143.600,40	459.176,42	8.682,43	472.078,07	143.600,40
2011	127.750,39	404.849,86	5.462,83	414.344,11	127.750,39
2010	235.600,00	737.390,07	9.799,75	754.661,72	235.600,00
2009	197.069,00	529.735,46	8.310,84	543.421,21	197.069,00
2008	159.030,00	341.171,10	6.655,57	351.304,92	159.030,00
2007	77.400,00	165.280,00	4.458,20	171.436,68	77.400,00
2006	6.520,00	62.041,97	1.114,36	63.652,63	6.520,00
2005	5.458,58	35.280,32	1.214,43	36.859,28	5.458,58

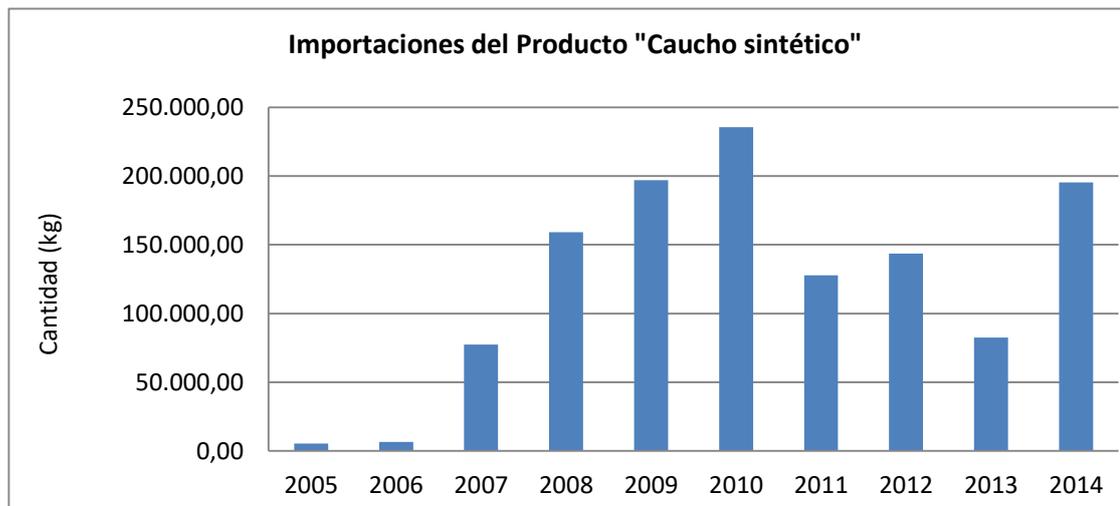


Figura 4: Principales Importadores de caucho sintético. Fuente: "Caucho sintético" – www.sacvage.com



Tabla 4: Exportaciones del producto caucho sintético.

Período	Cantidad (kg)	Valor FOB (USD)	Flete (USD)	CIF (USD)	Peso neto
2014	355,7	2.492,32	0	2.492,32	355,7
2013	622,94	3.281,71	0	3.281,71	622,94
2012	2.088,96	12.277,13	0	12.277,13	2.088,96
2011	2.480,59	14.792,58	0	14.792,58	2.480,59
2010	1.619,10	7.263,93	0	7.263,93	1.619,10
2009	3.447,14	9.852,14	0	9.852,14	3.447,14
2008	759,72	3.344,50	0	3.344,50	759,72
2007	406,79	1.605,18	0	1.605,18	406,79
2006	606,14	2.647,74	0	2.647,74	606,14
2005	587,73	7.951,61	0	7.951,61	587,73

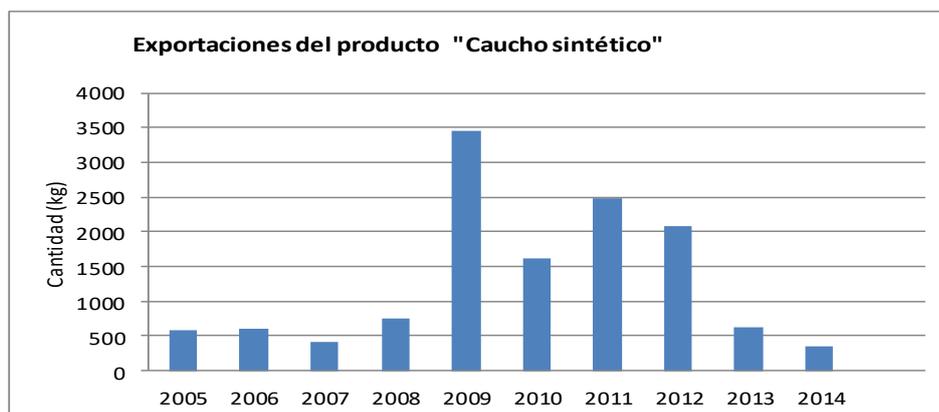


Figura 5: Principales Exportadores de caucho sintético

Fuente: "Caucho sintético" – www.sacvage.com



Las exportaciones son muy bajas respecto a las importaciones, lo que indica que la producción nacional y los productos importados se destinan al consumo interno. Por lo tanto, se está recurriendo a la importación para cubrir las necesidades del mercado local que no satisface la producción nacional.

3.3 Producción

1.3.1 Presentación y costo del producto.

El mercado de aplicación de la silicona es tan amplio que la presentación del producto varía grandemente.

Al producto se lo puede adquirir de diferentes formas y estados, obedeciendo a los diferentes requerimientos de aplicación que se generan entre los distintos consumidores del producto.

En las droguerías el producto se vende en forma de aceite, emulsión, o caucho (líquido blanco viscoso), mientras que en los distribuidores de firmas extranjeras se lo puede adquirir como sólidos blandos, en forma de panes de aproximadamente 5 kg, panes que se venden en cajas como pack de 25 kg

3.3.2 Productores

En la búsqueda de información acerca de las plantas productoras de dimetildiclorosilano, solo se registraron firmas extranjeras.

La importación del producto proviene de países como E.E.U.U, Alemania, siendo las firmas productoras:

- ❖ Dow Corning (E.E.U.U)
- ❖ General Electric (E.E.U.U sede en Brasil)
- ❖ Bayer (Alemania)



3.3.3 Distribuidores

El producto una vez importado es distribuido en el país, a través de centros que responden a la firma que lo produce. Los distribuidores que abastecen a la industria del caucho de silicona son:

- Dow Corning de Argentina S.A.I.C Cerrito 1294- piso 4 Capital Federal
- General Electric. Departamento de siliconas. Capital Federal
- Química del caucho S.A.C.I.F Rosario y Córdoba.

3.3.4 Determinación del volumen de producción

La evolución de la producción de caucho sintético permite analizar la demanda de dimetildiclorosilano, y a partir de ella poder efectuar una proyección de la demanda. La extrapolación de los últimos años sugiere una tendencia creciente. La proyección se refiere al caucho en su totalidad, por lo cual esta proyección sólo sirve de parámetro orientador.

3.3.5 Producción Nacional

En Argentina, las empresas que producen caucho de silicona son:

- Química del Caucho S.A (Santa Fe)
- Caucho Maipú SRL (Buenos Aires)
- Silicon Argentina SRL (Buenos Aires)
- Ferrogom (Buenos Aires)
- Noviplast (Buenos Aires)
- Todo Caucho (Buenos Aires)
- Cauchos Labanca (Buenos Aires)

Para determinar la tendencia de la producción nacional, se toma como valor de producción anual desde 2005 hasta 2013 obtenidas de la fuente del INDEC obteniéndose las cantidades totales en toneladas/año.

Los resultados se detallan en el gráfico, junto con la línea de regresión que mejor se aproxima a estos valores, correspondiente a una función logarítmica.



Tabla 5: Producción del producto caucho sintético. Fuente: INDEC

Año	Producción (t)
2005	40,935
2006	41,789
2007	43,789
2008	52,468
2009	54,402
2010	45,444
2011	48,218
2012	57,397
2013	58,319

3.3.6 Producción del caucho sintético.

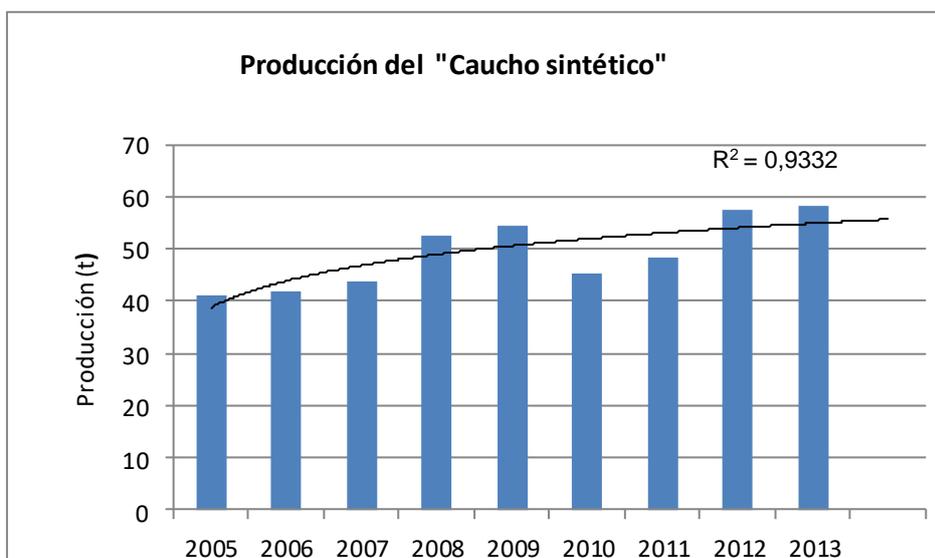


Figura 6: Producción de caucho.

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de INDEC.

En los últimos años la producción nacional ha tenido sus altibajos de acuerdo con la demanda del mercado industrial, y a la situación económica del país y a nivel mundial, sin embargo, la variación del mercado no es estrepitosa.



Las exportaciones de caucho de silicona son muy bajas respecto a las importaciones, lo que indica que la producción nacional y los productos importados se destinan al consumo interno. Por lo tanto, se está recurriendo a la importación para cubrir las necesidades del mercado local que no satisface la producción nacional.

La demanda del producto se determina calculando el Consumo Nacional Aparente (CNA), que es igual a:

$$\text{CNA} = \text{Producción Nacional} + \text{Importaciones} - \text{Exportaciones}$$

Con los datos anteriores, se calculó el CNA del caucho de silicona, cuyos valores se muestran en el gráfico, junto con la línea de regresión que mejor se ajustó a estos valores, correspondiente a una función logarítmica.

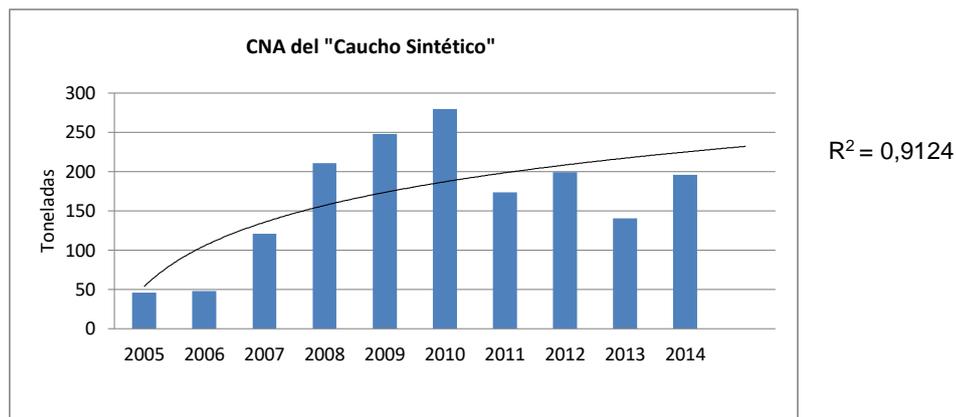


Figura 7: Consumo nacional aparente del caucho de silicona.

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de INDEC y SCAVAGE.

En este último gráfico se puede apreciar que el CNA tuvo una disminución durante el 2005/2006 causada por la inestabilidad económica que atravesó el país en ese período,



pero luego hubo una recuperación muy importante, superándose el consumo de dichos años.

En el año 2010 hubo una importante recuperación del 12.6 % respecto al año anterior. En los años 2011 y 2013 debido nuevamente a la inestabilidad mundial y nacional se puede observar un leve descenso.

Calculando la diferencia entre el CNA y la producción nacional, se obtiene la demanda insatisfecha en el mercado nacional. La misma se calculó en función de las proyecciones realizadas sobre los datos de CNA y producción nacional.

Tabla 6: Proyección de CNA – Proyección de la Producción Nacional – Demanda Insatisfecha.

Año	Proyección del CNA (t)	Proyección de la producción Nacional (t)	Demanda Insatisfecha (t)
2015	140,66	60,35	201,01
2016	143,13	61,99	205,12
2017	147,83	62,14	209,97
2018	149,54	63,24	212,78
2019	151,33	64,32	215,65
2020	153,65	65,24	218,89
2021	154,82	66,87	221,69
2022	158,01	67,46	225,47
2023	159,43	68,78	228,21
2024	159,15	69,85	229
2025	161,47	70	231,47

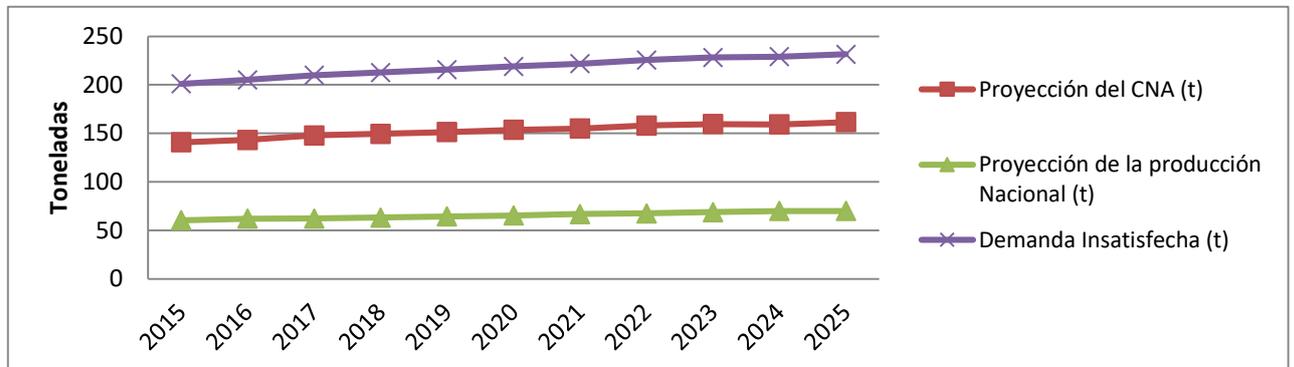


Figura 8: Proyección de CNA – Proyección de la Producción Nacional – Demanda Insatisfecha Futura. Fuente: Elaboración propia.

Como se advierte en el gráfico anterior, existirá una demanda insatisfecha que ira ascendiendo al pasar los años.

3.4 Evolución del precio

En el siguiente gráfico, se puede observar la tendencia creciente del precio del caucho de silicona en uno de los mercados mundiales más importantes como es el de Alemania.

1.4.1 Evolución del precio del caucho de silicona

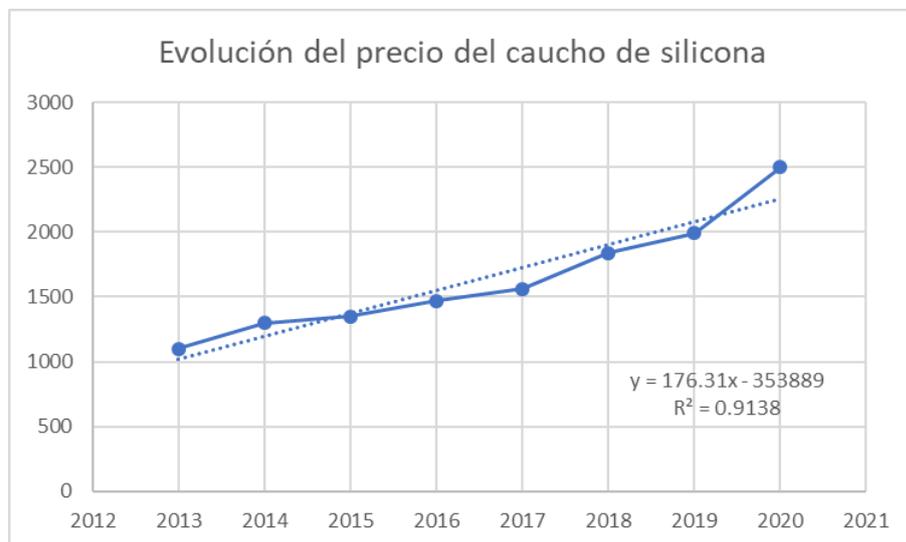


Figura 9: Precios del caucho de silicona.
Fuente: elaboración propia en base a datos recabados.



*NOTA: El grupo alemán de químicos especiales aumentó a partir del 1 de septiembre del 2018 el precio de diversas clases de caucho de silicona en hasta US\$ 2.200 por tonelada.

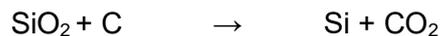
3.5 MATERIAS PRIMAS

3.5.1 Disponibilidad y proveedores

Las materias primas empleadas por el proceso son:

1. Cloruro de Metilo.
2. Catalizador de Silicio - Cobre.

El silicio es la principal materia prima para la producción de silicona. Se obtiene a partir del cuarzo (SiO_2) por reducción en hornos a altas temperaturas, en presencia de carbón.



En el país el silicio metálico se obtiene de Electrometalúrgica Andina, provincia de San Juan donde trabajan con cuarzo obtenido en la provincia de Córdoba. El cobre se obtiene en industrias metalúrgicas o distribuidores de metales.

Algunos proveedores son:

- Fundiciones Malito. Buenos Aires.
- Metales e insumos S.R.L. Avellaneda.
- Laminación Quintana S.A. Buenos Aires.
- Rougnat S.A. Capital Federal

El catalizador proviene de la empresa M. Metal S.R.L. ubicada en la ciudad de Córdoba.

El cloruro de metilo puede ser abastecido por la empresa Cloretil S.A.C.I.F, situada en la ciudad de Santa Fe. Dicha empresa cuenta con su sucursal de venta en la ciudad de Buenos Aires.



- Silicio metálico..... USD 0.975 la libra.¹
- Precio neto del catalizador de Si-Cu.....USD 4 el kg
- Cloruro de Metilo.....USD 0,31 A 0,37 el kg
(Industrias a granel, cisternas).²

A continuación, se muestra gráficamente el comportamiento del precio del silicio metálico en los últimos 3 años, USD/Lb.

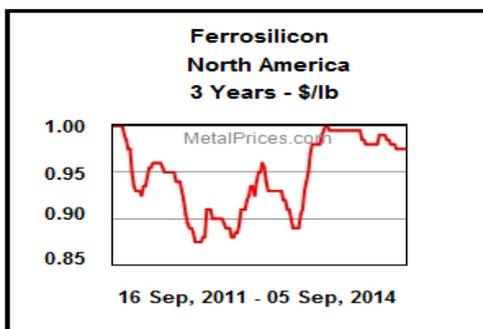


Figura 10: Precio del silicio.

Fuente: www.quiminet.com

3.5.1.1 Cobre

Los futuros sobre cobre retrocedieron por segunda vez consecutiva, lastrados por la fortaleza del dólar y la bajada de los precios de la propiedad de China.

En lo relativo a la división Comex del New York Mercantile Exchange, el cobre para entrega en diciembre del corriente año se negoció a 3,117 USD por libra, dejándose hasta 2,6 centavos.

Los precios se recuperaron y se situaron en 3,129 USD por libra, con un retroceso del 0,48% o 1,5 centavos. Los futuros sobre cobre cerraron con un retroceso del 0,71% o 2,2 centavos y un precio de liquidación de 3,143 USD por libra, al dispararse el dólar frente al

¹ Precio del Silicio Metálico. 2014. <http://www.quiminet.com/productos/silicio-metalico-2287274464.htm>

² Precio del cloruro de Metilo. <http://www.icis.com/chemicals/channel-info-chemicals-a-z/>



euro y al yen después de que la Reserva Federal anticipara sus previsiones sobre la subida de sus tipos de interés.

La fortaleza del dólar suele lastrar el cobre, pues reduce el atractivo del metal como activo alternativo y encarece las materias primas denominadas en dólares de cara a titulares de otras divisas.

Entre algunos de los países líderes y productores de cobre se encuentran, Chile, Perú y México como grandes potencias. China es el mayor consumidor de cobre del mundo y concentra casi el 40% de la demanda mundial.

En los gráficos 11 y 12 se detalla el precio para el cobre y su evolución anual.



Figura 11: Precio del cobre.

Fuente: Evolución del Precio de cobre. Agosto 2014. <http://es.investing.com/>

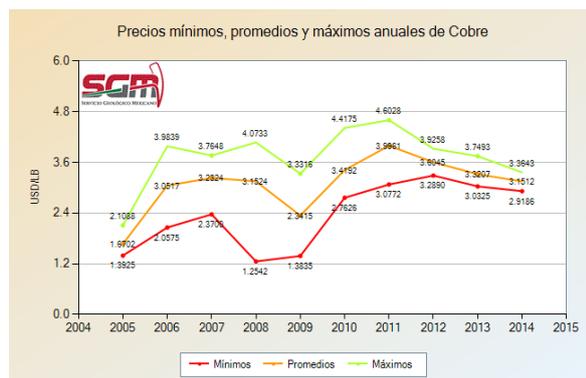


Figura 12: Evolución de precios mínimos, promedio y máximos anuales de Cobre.

Fuente: Servicio geológico mexicano. Portalweb.sgm.gob.mx



3.6 Análisis FODA

Fortalezas

- Producción nacional de las materias primas, lo que permite no incurrir en costos adicionales de importación.
- No se requiere de mano de obra especializada.
- El producto tiene un gran campo de aplicación, lo que facilita su comercialización
- El proceso productivo tiene impacto ambiental reducido.

Oportunidades

- Crecimiento del consumo mundial de Dimetildiclorosilano.
- No existe una empresa en Argentina que produzca dimetildiclorosilano, por lo cual se satisface la demanda nacional de dicho producto mediante la importación del mismo.

Debilidades

- Inversión inicial elevada.

Amenazas

- Desequilibrio económico – financiero a nivel mundial y nacional.
- En el orden mundial existen importantes empresas productoras de dimetildiclorosilano con elevada capacidad productiva que son capaces de satisfacer la demanda mundial de dicho producto.

3.7 Conclusión del análisis FODA

Del análisis FODA se concluye que instalar una planta productora de caucho de silicona en el país sería una buena oportunidad para satisfacer la demanda nacional insatisfecha de este producto, para lo cual actualmente se está recurriendo a la importación. Además, la producción nacional de las materias primas refuerza esta posibilidad.

A partir de la investigación de mercado realizada y del resultado favorable del análisis FODA, se concluye que instalar una planta productora de dimetildiclorosilano en el país representa una alternativa viable.



CAPÍTULO 4

CAPACIDAD PRODUCTIVA

4.1 Capacidad productiva de la planta

El tamaño de un proyecto es su capacidad de producción durante un periodo de tiempo de funcionamiento que se considera normal para las circunstancias y tipo de proyecto de que se trata. Es una función de la capacidad de producción, del tiempo y de la operación en conjunto.

Este capítulo pretende definir la capacidad productiva de la planta correspondiente a este proyecto.

En primer lugar, se determinará la demanda insatisfecha del dimetildiclorosilano en Argentina, para conocer cuáles son las necesidades del mercado. Posteriormente, se realizará una estimación del costo total del producto, para poder encontrar el punto de equilibrio, que corresponde a la capacidad productiva en la cual se igualan los ingresos y los costos. Esto es necesario para fijar la mínima producción que permite no tener pérdidas.

Por último, sobre el valor elegido de producción, se realizará una estimación de la inversión de capital, para estimar el período de recuperación de esta.

Al analizar las variables determinantes del tamaño del proyecto se planteó la necesidad de considerar el comportamiento futuro de la demanda como una forma de optimizar la decisión no tanto en respuesta a una realidad coyuntural como a una situación dinámica en el tiempo.

Si se han estimado con cierta certeza la vida útil de los equipos por utilizar y el crecimiento de la demanda, el tamaño óptimo del proyecto será aquel que permita mantener al mínimo los costos totales durante la vida útil estimada.

Al proyectar la demanda esperada se puede disponer de un cuadro anual de demandas normalmente crecientes.

Aplicando la siguiente ecuación 1, se calcula el número de periodos (años) en que se desarrolla el mercado desde que se inicia la producción de la empresa. La demanda correspondiente al periodo en que el mercado llega a su desarrollo óptimo corresponde al tamaño óptimo.



Dónde:

R = desarrollo porcentual de la demanda

α = exponente del factor de escala

Las Naciones Unidas han efectuado algunos estudios, generando una lista de factores calculados para las industrias químicas, petroquímicas y automovilísticas, publicadas por las Naciones Unidas, Boletín N° 20 "Industrialización y Productividad", en el cual el valor del factor es de 0,63.

N = vida útil del equipo

n = periodo optimo

$$\frac{1}{R^2} = 1 - 2 \cdot \left[\frac{1-\alpha}{\alpha} \right] \cdot \left[\frac{R-1}{R+1} \right]^{N-n} \quad \text{Ecuación 1}$$

El desarrollo porcentual de la demanda (R) es una función de la tasa de crecimiento estimada del mercado (r) que se puede expresar de la siguiente forma.

$$R = (1+r) \quad \text{Ecuación 2}$$

Una vez calculando el "n" óptimo, se incorpora en la fórmula siguiente, para determinar el tamaño óptimo del proyecto a través de la ecuación 3:

$$D_n = D_0 \cdot (1+r)^n \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

D_0 = magnitud del mercado actual

D_n = tamaño optimo

Exp(n) = elevado a n

La aplicación de estas fórmulas supone disponer de información confiable relativa a la magnitud del mercado actual, al desarrollo del mercado esperado a la vida útil del equipo y al exponente del costo del capital.



En cuanto a la vida útil de las maquinarias y equipos se toma un valor de 10 años donde al finalizar este periodo se tiene que renovar o hacer alguna refacción.

4.2 Determinación de la demanda insatisfecha

Para determinar la capacidad productiva de la planta, es necesario conocer la demanda insatisfecha del mercado, la cual fue proyectada para el período 2015 – 2025, donde se pretende recuperar la inversión.

Tabla 7: Demanda Insatisfecha

Años	Demanda Insatisfecha (t)
2015	201,25
2016	205,12
2017	209,97
2018	212,78
2019	215,65
2020	218,89
2021	221,69
2022	225,47
2023	228,21
2024	229,00
2025	231,47

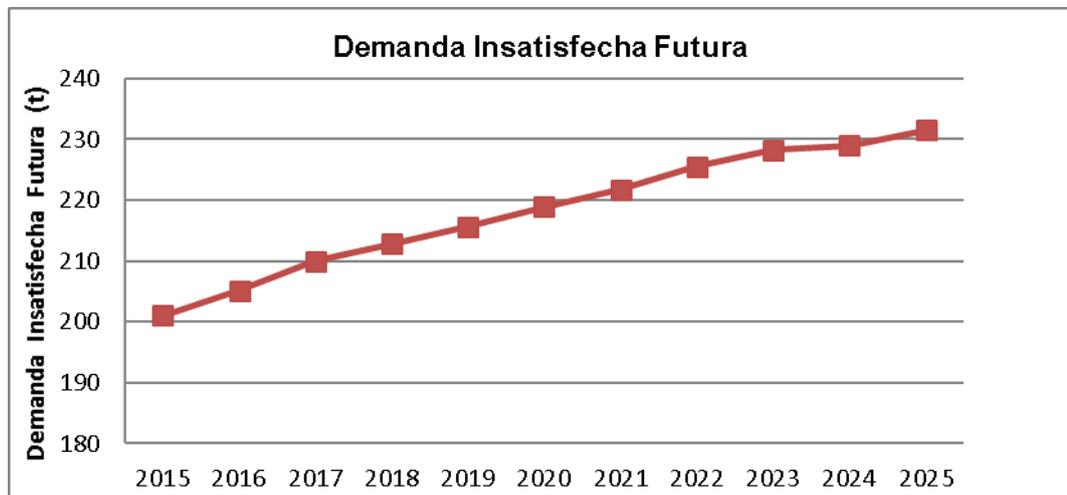


Figura 1: Curva demanda insatisfecha. Fuente: Elaboración propia.

Como se advierte en el gráfico anterior, existirá una demanda insatisfecha que ira ascendiendo al pasar los años.

Es recomendable invertir inicialmente en una capacidad instalada superior a la requerida al inicio por si en el futuro el mercado requiera una utilización rentable de esa mayor capacidad. El análisis de los rangos de variación del tamaño permitirá determinar los límites dentro de los cuales se fijará el tamaño del proyecto.

La estimación del costo total de producción se realizará siguiendo el método propuesto en SAPAG CHAIN, N., & SAPAG CHAIN, R. Preparación y Evaluación de Proyectos.

De la tabla 1 se puede obtener la tasa de crecimiento promedio que es $r= 0,0406$. Luego, a través de este valor y la ecuación 2, se obtiene $R= 1,0406$.

Con todos los datos se procede a la resolución de la ecuación 1 calculándose el tiempo necesario para que la fábrica alcance su producción máxima, el cual es $n=9,30$ años.

Una vez obtenido "n" y la ecuación 3 se calcula el tamaño óptimo del proceso.

El valor de D_0 se dispone de la demanda del dimetildiclorosilano en el 2015 que es de 201,25 ton. debido a que la demanda en los años 2013/14 se ve afectada por la inestabilidad económica mundial y del país principalmente por el cierre de las importaciones.



A través de la ecuación 3 se puede establecer el valor de D_n , obteniendo $D_n = 229,82$ toneladas anuales, esta va a ser la producción de la empresa dentro de 9,30 años. Finalmente, se adopta una capacidad de planta 229,82 t/año.

4.3 CONCLUSIÓN

La planeación estratégica de la capacidad implica una decisión relacionada con las inversiones. Se debe armonizar las capacidades de recursos con una predicción de la demanda a largo plazo.

Mediante este análisis concluimos que la producción del dimetildiclorosilano a los 9.3 años alcanzará su producción máxima obteniéndose 229,82 toneladas anuales del producto.

Esta información se obtuvo gracias a las proyecciones y a los datos de estudio de mercado analizados previamente.



CAPÍTULO 5 PROCESO DE OBTENCIÓN

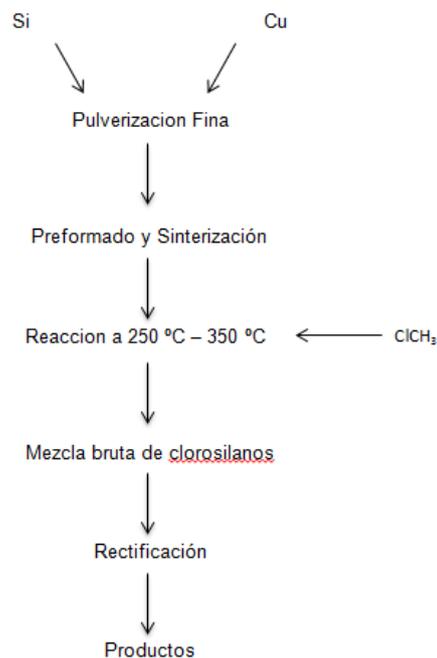
5.1 Proceso industrial

Existen en la actualidad dos métodos en abierta competencia para la producción de siliconas, que son:

5.1.1 Método directo o de Rochow.

La industria moderna del dimetildiclorosilano está basada exclusivamente en su totalidad en el proceso directo.

El procedimiento de Rochow se caracteriza por una gran simplicidad, la necesidad de pocos productos auxiliares y la producción de pequeñas cantidades de productos secundarios. Este procedimiento estuvo dirigido fundamentalmente a conseguir de una manera menos complicada y más económica los compuestos metilados y fenilados del silicio que son los dimetildiclorosilanos y los fenilclorosilanos.



Se utiliza un reactor de lecho fluidizado, debido a que estos equipos poseen la ventaja de un mejor control de temperatura. El reactor opera de manera semi-continuo, el gas y los sólidos de la alimentación pueden ser introducidos de modo continuo o discontinuo. El ciclo



operacional, definido como tiempo para el cual los sólidos presentes en el reactor sean descargados y una nueva carga sea introducida, puede durar hasta 25 días. El ciclo debe ser interrumpido cuando la operación no es rentable económicamente, esto es consecuencia de la alteración de la selectividad a los productos de interés, que está influenciada por la acumulación de impurezas indeseadas dentro del reactor, así como materiales inertes, y por la alteración de la fluidización causada por la formación de aglomerados.

La mezcla del catalizador se introduce en el reactor con un alimentador a pistón y es fluidizado con una corriente de CH_3Cl a $280 - 300\text{ }^\circ\text{C}$ y 5 atm.

La alimentación de sólidos es realizada por medio de un alimentador pistón (similar al alimentador de hormigón) para evitar el retorno de los sólidos en la cañería y la posible reacción de entrada del gas. El silicio es introducido al reactor con un tamaño medio de $100 - 150\text{ }\mu\text{m}$, y el cobre en un estado parcialmente oxidado en partículas de tamaño de $0.7 - 35\text{ }\mu\text{m}$. Los promotores tales como el Al, Zn y Sn son alimentados en forma elemental, de compuestos o aleaciones, como una mezcla en forma de polvo con tamaños menores de $45\text{ }\mu\text{m}$.

La fase gaseosa que sale del reactor por la parte superior, cargado de partículas sólidas, se introduce en un ciclón donde retorna la mayor parte de sólidos a la alimentación y posteriormente en un filtro de mangas. Los sólidos que quedan en el filtro también se llevan a la corriente de alimentación, para que los pellets de Si-Cu que quedaron sin reaccionar, ingresen nuevamente al reactor ya que el Si es consumido en el transcurso de la reacción y nueva mezcla de catalizador debe ser agregada continuamente.

Las condiciones en el reactor deben ser lo más constantes posibles, ya que se alcanzan conversiones del 90% al 98% del Si y las conversiones del CH_3Cl son entre el 30% y un 90%, dependiendo de las condiciones del proceso (presión, reactividad de la mezcla de catalizador, etc.) La reacción directa es fuertemente exotérmica, requiere un control efectivo y preciso de la temperatura porque los altos rendimientos del dimetildiclorosilano son posibles a 280°C , esto se logra regulando un dispositivo de control.

El calor es removido por medio de una camisa de enfriamiento con aire, la reacción puede hacerse más lenta introduciendo un gas inerte y de esta forma se libera menos calor.



Los gases que salen del filtro van a un condensador, separándose la corriente gas-líquido, mezcla de clorosilanos que alimentarán la torre, y la corriente de CH_3Cl que es completamente gaseosa, es reciclada al reactor.

En esta parte del proceso se alimentará una corriente de cloruro de metilo fresca, que recorrerán la cañería hacia el calentador donde aumenta la temperatura del fluido y como consecuencia de esto también aumentará la presión. Entre el reactor y el intercambiador de calor se colocará una válvula reguladora de presión para que se cumplan las condiciones de presión óptimas en el reactor.

En la otra parte del proceso, la mezcla de monómeros que salen del condensador es separados en una columna de destilación, y los clorosilanos obtenidos cumplen con condiciones de alta pureza.

El acero inoxidable es el material óptimo para la construcción de equipos debido a la alta reactividad del CH_3Cl con Zn, Sn, Mg y Al a elevadas temperaturas, por lo tanto, estos metales no pueden ser usados como componentes de la aleación.

En algunas partes de la planta deberán utilizarse esmaltes para recubrimiento o teflón porque los metilclorosilanos son muy reactivos y corrosivos.

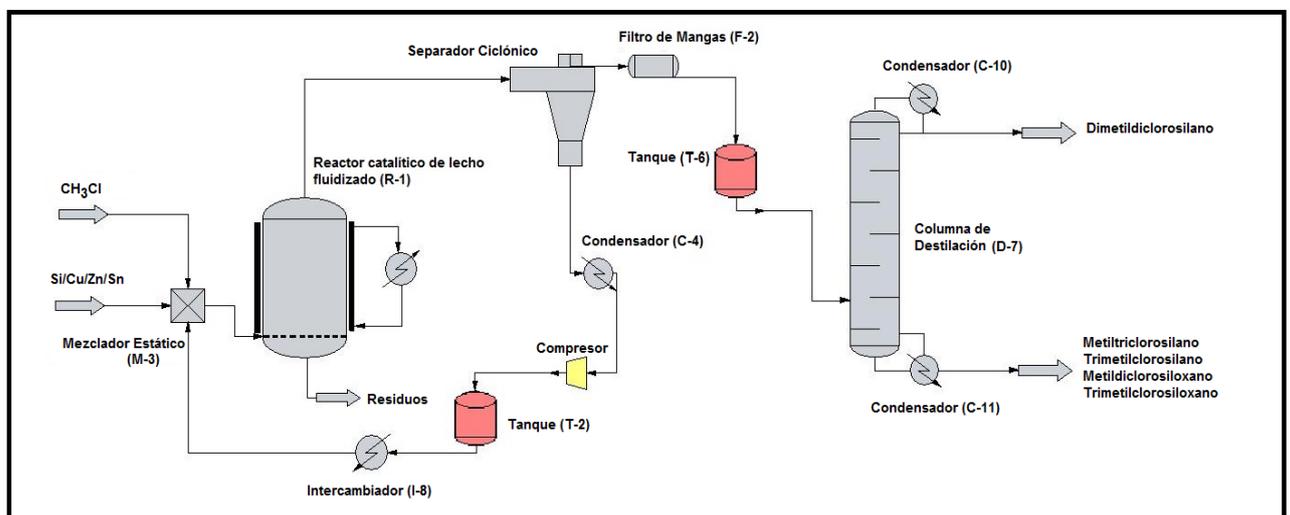
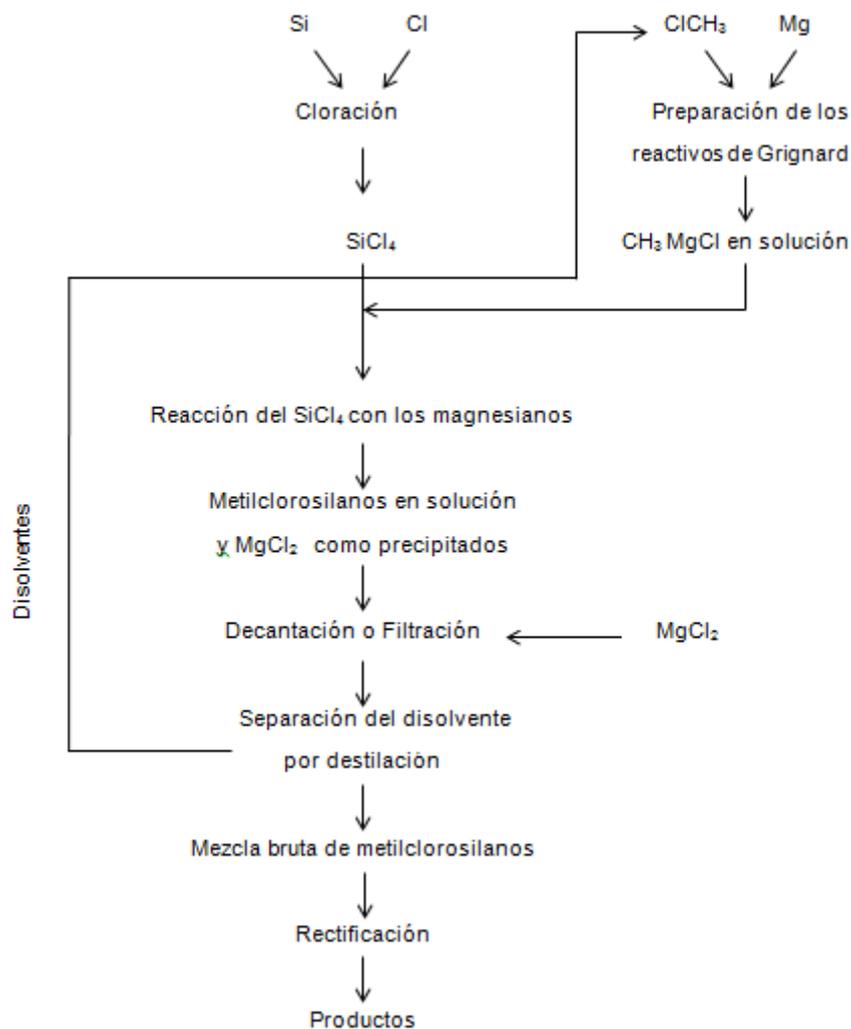


Figura 1. “Diagrama de flujo de la Síntesis Directa”.



5.1.2 Método de Grignard.

Otro método, aunque no tiene tanta importancia industrial, es la adición de hidrocarburos no saturados al SiCl_4 a presión elevada y en presencia de catalizadores:



Este método es apto para un empleo más general, con su ayuda se pueden lograr los más variados grados de metilación de mono tetrametilsilanos; el método permite así mismo anclar al silicio los más diversos radicales alquilo y arilo. De esta forma es posible



preparar alquil aril halogenados que al mismo tiempo contenga diferentes radicales, tales como metilos, fenilos unidos al silicio.

Tienen la desventaja de que requiere un mayor número de materias primas que el método directo, como así también una mayor cantidad de operaciones químicas y de equipos, lo que implicará un mayor capital para su instalación, como también mayor costo de funcionamiento.

Debido al empleo de disolvente para la preparación de los reactivos de Grignard, es necesario el empleo de una torre de destilación para su separación la cual deberá trabajar eficientemente para evitar que parte del disolvente pase con el producto impurificándolo.

Dada la diversidad de productos que se obtiene, sería necesario un mayor número de torres de rectificación que en el método directo.

El método de Grignard resultaría económico para grandes producciones de siliconas, caso de la Dow Corning y General Electric, pero para una fábrica pequeña no lo sería.

5.2 Evaluación de métodos. Ventajas y desventajas.

➤ Método directo o de Rochow:

Ventajas: Gran simplicidad, pocos productos auxiliares y la producción de pequeñas cantidades de productos secundarios.

Desventajas: no apto para producir grandes cantidades de producto y se debe tener especial atención en el control de la temperatura en el reactor para evitar reacciones secundarias.

➤ Método de Grignard

Ventajas: Apto para lograr diferentes grados de metilación, económico para grandes producciones de silicona.

Desventaja: Requiere un mayor número de materias primas que el método directo, como así también una mayor cantidad de operaciones químicas y de equipos, lo que implicará un mayor capital para su instalación, como también mayor costo de funcionamiento.



Al analizar las distintas ventajas y desventajas de ambos métodos se ha concluido, que es apropiado para nuestro proyecto, debido a la cantidad de dimetildiclorosilano a producir, el método de Rochow o directo para la preparación de monómero de silicona.

5.3 Mecanismo de las Reacciones.

Se ha encontrado que el silicio elemental reacciona a elevada temperatura con haluros hidrocarbonados, para formar organo-halosilanos y que la reacción es generalmente facilitada por el uso de cobre como catalizador.

Ya que esta síntesis es importante en la expansión rápida del campo de las sustancias de siliconas, Dallas T. Hurd y Eugene Rochow emprendieron una investigación sobre el mecanismo de la reacción o reacciones involucradas en la producción de dimetildiclorosilanos a partir de cloruro de metilo y silicio- cobre. Parte experimental:

El primer experimento consiste en pasar cloruro de metilo puro a 350°C sobre una sección pulida de cristales de silicio embebido en cobre. Esta sección se preparó moliendo cristales de silicio puro entre dos pedazos limpios de cobre, puliendo hasta que aparezca la interface Si-Cu. A 350°C el ataque del cloruro de metilo fue muy rápido, un examen minucioso de las muestras proporciona dos hechos significantes:

1. El silicio fue agotado mayormente en el inmediato contacto o en las proximidades del cobre.
2. El cobre fue removido algo más rápidamente en la proximidad del silicio. La reacción de ambos, cobre y silicio dejan una depresión en forma de "V ", insinuando una acción catalítica mutua o interacción. La reacción de cobre con cloruro de metilo fue investigada posteriormente usando un tenue film de cobre evaporando sobre portaobjetos limpios, observando al microscopio.

Aquel cobre pulido fue quebrado en dos pedazos, un pedazo es calentado en una corriente de cloruro de metilo a 250°C, mientras que el otro es retenido para un control analítico. El cobre pulido es calentado en cloruro de metilo lentamente hasta convertirse en transparente y trazas de cobre son transferidas a la parte fría del tubo.

Un examen minucioso del pedazo expuesto revela que queda una delgada capa de sal de color débil.

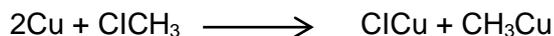


Tratamientos con hidrógeno a 250°C reducen esta sal y parcialmente restituye el color de opacidad de la capa original de cobre. Se ha encontrado que la sal de color débil es solución de NH₄OH diluido y toma una coloración que lentamente se vuelve azul. Este proceder es característico del cloruro de cobre.

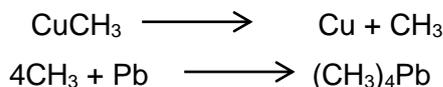
Una determinación de la cantidad de cobre que ha quedado sobre el portaobjeto como cloruro de cobre después del tratamiento es comparable a la cantidad en el film metálico original, mostrando que aproximadamente la mitad del metal ha sido transportado o removido por el vapor del cloruro de metilo. En las trazas de cobre que son transportadas, una mitad de la película de cobre que se encuentra sobre un portaobjeto recientemente cubierto fue removida con ácido nítrico y los residuos tienen límites filosos (agudos), como los bordes del cobre remanente. Este portaobjeto fue colocado luego en un tubo de vidrio de tal manera que un chorro de cloruro de metilo es inducido a pasar sobre el cobre hacia el área de vidrio del portaobjeto, mientras una lenta corriente de nitrógeno arrastra a todos los productos abajo del tubo.

Después de 24 horas a 250°C, el cloruro de metilo ha removido el cobre desde el espacio original y sobre el vidrio, más allá del límite del cobre original. Algunos cobres metálicos han sido depositados a lo largo de la dirección del chorro.

Este experimento sugiere la formación de algún compuesto de cobre transitorio, formado por la reacción de la película de cobre con el cloruro de metilo. Considerando la formación de cloruro de cobre previamente demostrado, el transporte observado y la deposición de cobre desde la fase gaseosa, se postula la siguiente reacción, en la cual, el volátil e inestable CH₃Cu servirá para transportar el cobre:



La conclusión de este test de un vapor de cloruro de metilo que pasa sobre cobre finamente dividido a 250°C en la conducción inmediata de sus productos sobre una delgada superficie de plomo pulida la cual fue depositada sobre vidrio y calentada a 65-70°C, es que se encontró que el plomo pulido fue limpiado del vidrio en algunas horas. En este experimento se piensa que grupos metilos libres provenientes de la descomposición del CH₃Cu son responsables de la reacción de plomo de la manera que indica Paneth en sus experimentos:



Un experimento similar sin cobre en el tubo, dio como resultado que el Pb no es removido luego de 20 horas.

Cálculos aproximados basados en el experimento del chorro, el cual a su vez se basa en la cantidad de Cu depositado y la velocidad de salida del ClCH_3 en el chorro, dio una vida media del CH_3Cu a 250°C de sólo 0,003-0,005 segundos.

Anteriormente ha sido determinado que el ClCu es rápidamente reducido por el silicio elemental a 250°C en una reacción altamente exotérmica en Cu metálico y silicio.

Así también se puede ver que en la reacción del silicio - cobre con el ClCH_3 , mientras existe superficie suficiente de silicio presente para la reducción del ClCu , el Cu metálico pasará por dos ciclos de reacciones y continuará hasta ser útil para catalizar la reacción del silicio con el ClCH_3 .

Un simple experimento demuestra que en la reacción de ClCH_3 con silicio en presencia de Cu como catalizador a moderada temperatura, es precedida por la reacción del ClCH_3 con el Cu antes que con el silicio.

Sobre la mitad de un portaobjeto de vidrio fue preparada por evaporación una película de Cu y la otra mitad se cubrió con Cu elemental por rociado, a 250°C se sopló un chorro de ClCH_3 sobre el silicio hacia el cobre teniendo como consecuencia que el silicio cubierto no fue removido.

Cuando el ClCH_3 es soplado a través del Cu hacia el silicio, con chorro invertido, se obtuvo, que ambos, Si y Cu, en el espacio del vidrio ahora sí fueron removidos.

El punto máximo en el cual se desarrolla beneficiosamente la reacción es de 250°C . Si la temperatura se aumenta hasta el punto en que el ClCH_3 se descompone térmicamente, el silicio sería atacado por el HCl resultante a pesar de la presencia de Cu. La posibilidad de ataque y pirolisis de los grupos metilos por el silicio bajo estas condiciones, disminuiría. La reacción directa del ClSi con el ClCH_3 también resulta de la adición de radicales CH_3 , cloro y hasta el silicio, probablemente.

El punto importante en el mecanismo del ClCH_3 con el Si-Cu es la formación inicial de núcleos activados, los cuales son sometidos a la alquilación o posterior halogenación.



La función principal del catalizador es hacer la halogenación desde el haluro orgánico, para hacerlo reaccionar y prolongar efectivamente la vida de los radicales libres en la forma de metal alquilos.

Es probable que este mecanismo sea usado en la reacción de otros haluros hidrocarbonados con el Si-Cu.

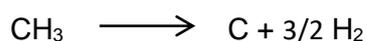
Una reciente investigación ha mostrado que en la preparación de fenilclorosilanos, por la reacción de clorobenceno con silicio, la plata es preferida como catalizador, y puede probarse que esta reacción tiene un curso similar al mecanismo del ClCH_3 con Si-Cu. Esta suposición está basada por el descubrimiento que el ClAg es realmente reducido por el silicio a la temperatura empleada por la reacción del clorobenceno, y que el clorobenceno reaccionará con plata metálica a 400°C para formar cloruro de plata.

5.4 Nuevas concepciones

El mecanismo descubierto por Rochow y Hurd está basado en la conversión del ClCH_3 con Cu y la formación de la unión Si-Cu por un mecanismo determinado.

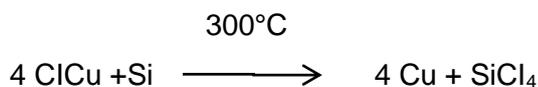
El rol del Cu es dividir el ClCH_3 y estabilizar el radical metilo. Una película de Cu se forma sobre la pared del reactor, la formación de esta podría ser expresada por la degradación del CH_3Cu .

La inactivación de la masa de contacto durante la reacción puede ser explicada por el bloqueo de la superficie con el carbono formado a partir del radical CH_3 :



Algunas observaciones que no pueden ser explicadas por la síntesis de Rochow son:

- a) Nadie ha justificado la posibilidad de la reacción de los radicales metilos con el Cl_2Cu .
- b) La formación de producto con uniones Si-Cu, parecidas al tetrametilsilano no ha sido explicada.
- c) La distribución de los productos podría no ser la esperada a favor del dimetildiclorosilano, como se encuentra a temperatura de reacción baja ($300\text{-}400^\circ\text{C}$).
- d) La reacción:



ocurre fácilmente debajo de las condiciones previstas para la síntesis un alto porcentaje de Cl_4Si y otros productos ricos en cloro podrían ser esperados en los productos de la reacción, los cuales no son deseados en estos casos.

Especialmente a bajas temperaturas esto es una discrepancia importante entre el producto obtenido y el producto esperado desde la síntesis de Rochow.

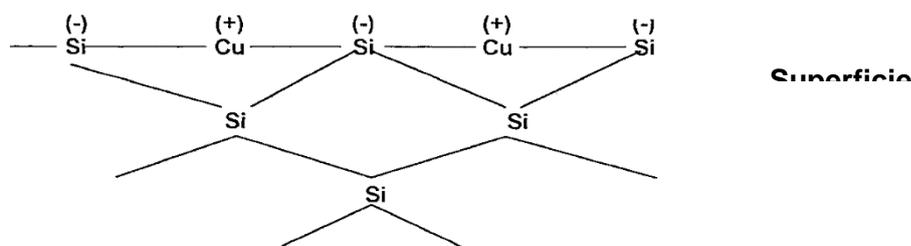
El mecanismo de Rochow deja explicado el craqueo del ClCH_3 por la acción del cobre libre, pero no las otras reacciones que se producen en la síntesis directa de los clorosilanos.

5.5 Hipótesis de Klevansky y Trambonze:

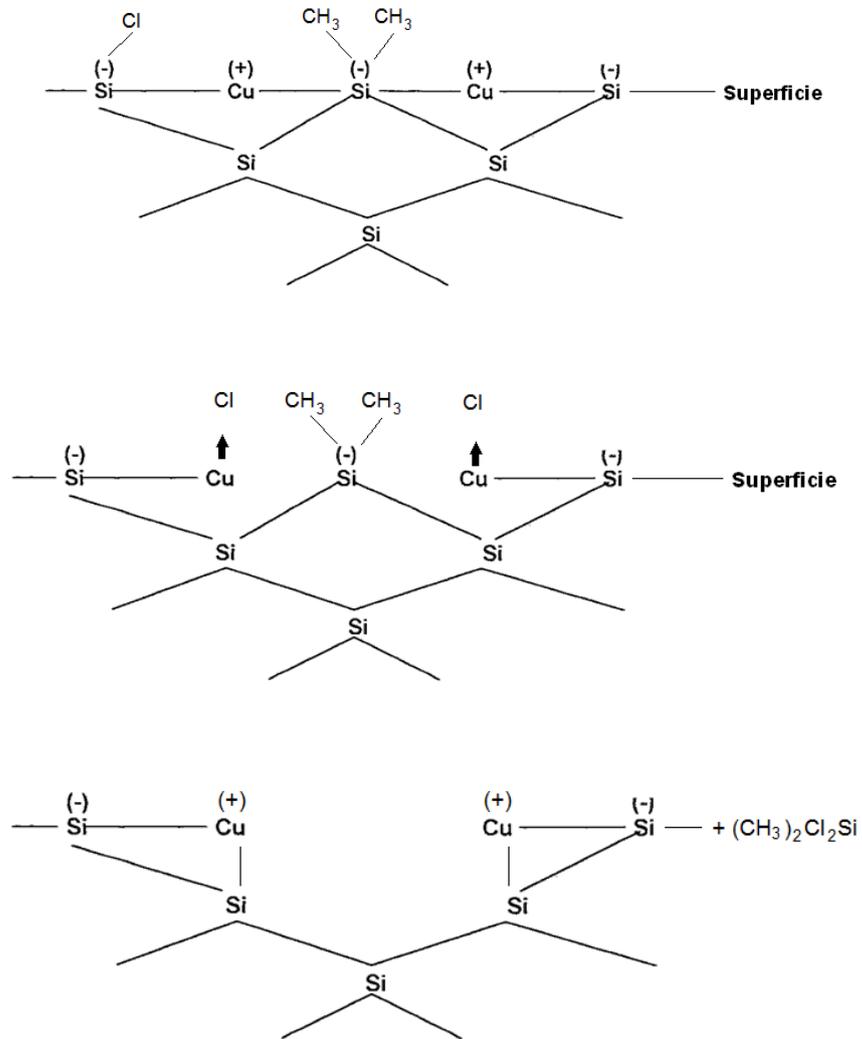
Ellos asumen una quimisorción del cloruro de metilo, el cual tiene un momento dipolar permanente, sobre la polaridad de la superficie Si-Cu.

El cobre en la superficie está presente como fase N', formado por 88% de cobre y 12% de silicio y parcialmente como cobre libre.

El compuesto inter metálico en la superficie es demostrado cómo sigue:



La quimisorción y reacción del ClCH_3 con el Si es ilustrado:



Desde este esquema está claro que la cantidad de dimetildiclorosilano en el producto debe ser elevada, y el cobre debe estar en íntimo contacto con el silicio, solamente el cobre presente como fase N^o es activo como catalizador para la síntesis. El cobre libre puede ser responsable del craqueo del cloruro de metilo, dejando subproductos no deseados. Por lo tanto, la hipótesis de Klevansky explica la síntesis de los productos de reacción más satisfactoriamente que como lo hace Rochow.



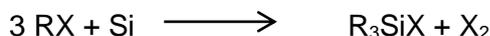
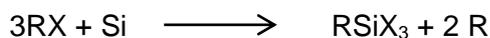
5.6 Productos obtenidos

Bajo condiciones favorables, el principal producto de la reacción entre el silicio elemental y un alquil aril- haluro RX es el correspondiente dialquil o diaril di-halofenilsilano R_2SiX_2 .

Este puede ser obtenido con un rendimiento del 70%, pequeñas cantidades de compuestos conexos $RSiCl_3$ y R_3SiCl son obtenidas al mismo tiempo y algunos R_4Si y SiX_4 . Bajo condiciones que favorecen algunas pirólisis de radicales hidrocarbonados libres, carbón e hidrógeno son formados y un halosilano aparece en el producto que resulta ser del tipo $RSiHX_2$. Se recalca con esto, que la reacción es compleja y que solamente las ecuaciones simples que pueden ser escritas, representan cambios químicos importantes, los cuales han tenido lugar durante el curso de la reacción. Bajo condiciones favorables, el principal cambio neto puede ser representado como:



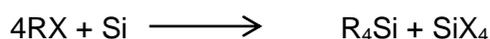
Donde X es: flúor, cloro, bromo o yodo y R es un radical hidrocarbonado. Varias reacciones pueden ser escritas para obtener otros productos como ser:



Seguido por:



Además, otras reacciones son posibles:



y si hay un pirólisis parcial de radicales libres:



5.7 Catalizador

Como se ha explicado a través de los mecanismos de reacción, una serie de reacciones envuelven los haluros, el catalizador y el silicio. Esto ocurre sobre la superficie del cristal de silicio, produciendo varios haluros orgánicos de silicio. El curso de esta reacción primaria está influenciado por la temperatura, el tiempo de contacto con el silicio, el tipo de catalizador y la manera en que el catalizador está asociado con el silicio.



Por esta razón la reacción completa no produce necesariamente todos los posibles tipos de compuestos indicados anteriormente, pero tal vez la formación de estos compuestos se ve favorecida por las condiciones particulares empleadas. El proceso más económico es con grupos orgánicos y halógeno cuando estos están dirigidos hacia la preparación de R_2SiX_2 como producto principal.

En general la baja temperatura hallada para iniciar la reacción era necesaria para ligar los grupos orgánicos a los átomos de silicio. Como la temperatura aumenta por encima del umbral (temperatura a la que es posible la reacción), la velocidad de reacción aumenta, pero la posibilidad de pirólisis de los radicales libres también sube, de modo que la mezcla resultante de compuestos orgánicos. La dirección y la velocidad de reacción también son influenciadas por el carácter del radical orgánico y el halógeno del compuesto halogenado empleado.

El rol del catalizador es tan oscuro como mecanismo de la reacción y según parece está relacionado estrechamente a él. De esto surge que el catalizador acelera la velocidad de reacción total a tal punto que la operación puede ser conducida a baja temperatura, que sería de esta manera posible, resultando una pequeña pirólisis de grupos orgánicos y un aumento del producto útil.

Así que, mientras algunas preparaciones de silicio comercial han reaccionado con $ClCH_3$ sin catalizador produciendo buena cantidad de metilclorosilanos, esta preparación ha sido excepcional, el resultado más común es quizás la pobre reactividad inicial, la cual declina rápidamente produciendo en su mayor parte metilclorosilanos y tetracloruro de silicio.

El uso de un catalizador no solamente aumenta la reactividad y el rendimiento, sino que también se ha encontrado que uniforma la reacción, haciendo los resultados más reproducibles.

En general, el cobre parece ser el mejor catalizador para la preparación de haluros de alquilsilicio, mientras la plata es mejor catalizador para la reacción de haluros de arilos, otros metales pueden ser usados para la preparación involucrando otros tipos de radicales, pero son menos efectivos cuando son usados.



5.8 Preparación de metilclorosilanos.

A continuación, transcribimos una serie de experimentos realizados por: Eugene Rochow con el objeto de determinar el comportamiento de distintas masas de reacción.

5.8.1 A partir de silicio comercial

El ClCH_3 de alto grado de refinación fue pasado directamente dentro de un tubo calentado, conteniendo 100 gramos de silicio comercial (con 98% de Si) pulverizado que pasa por la malla 350. A una temperatura de 285°C y un flujo de 2,3 gramos de ClCH_3 por hora, una mezcla de productos líquidos sale hirviendo por encima de la temperatura de condensación a la velocidad de 1,31 gramos por hora. Este condensado que indudablemente disuelve algo de ClCH_3 , contiene 67,1% de cloro atacado por silicio, determinado por la titulación de ClH formado, como producto de la hidrólisis del condensado, con hielo y éter. La presencia de otro metilclorosilano fue establecida por hidrólisis del condensado remanente en hielo y éter separando y secando el producto de la hidrólisis y analizando esto por el método de combustión lenta. El sólido contiene 3,62% de H_2 , 10,64% de C y 44,4% de Si, el cual corresponde a un polímero de óxido de metilsilicio teniendo como promedio 0,56 grupos metilos por átomo de silicio.

Esta pequeña cantidad de grupos metilos en el producto y la baja velocidad de reacción, parece típico en la conducta del silicio comercial hacia el cloruro de metilo en ausencia de catálisis.

5.8.2 Desde aleación Cobre- Silicio:

Una aleación comercial de 50% de silicio y 50% de cobre fue rota en pedazos, los cuales fueron introducidos por arriba en un tubo de vidrio. A una temperatura de 312°C y con un adecuado flujo de ClCH_3 a través del tubo, se obtuvieron 5,6 gramos de líquido condensado por hora. Una prueba del primer condensado contiene 52,62 % de Cl por hidrólisis, pero pruebas posteriores aumentan el contenido de cloro hasta un máximo de 56,39%.

Algunos metilclorosilanos son llevados por el exceso de cloruro de metilo a través del condensador y retenido en una trampa a -50°C , después de la evaporación del cloruro de



metilo, el producto líquido contiene 54,48% de cloro. Estos resultados indican una mayor metilación del haluro de silicio a pesar de la mayor temperatura que permite fijar o establecer la reacción. Cuando el producto fue hidrolizado tomó una apariencia aceitosa, la cual es una forma típica de metilsilicona, teniendo una gran relación CH_3/Si . El aceite no fue gelificado después de varios días a 200°C y por análisis se encontró que contiene 7,64% de H_2 , 30,7% de C y 37,08% de Si.

En este y otros experimentos con ClCH_3 y Si se encontraron pequeñas cantidades de gases incondensables a la salida de la trampa a la temperatura de -80°C . Como la reacción progresa sale progresivamente más gas (siendo principalmente H_2 , CH_4 y cantidades pequeñas de ClCH_3) desde este punto, la formación de H_2 y CH_4 fue acompañada por la deposición de C en el tubo de reacción, la aparición de este producto puede ser atribuido al reagrupamiento de grupos metilos libres según el mecanismo de estabilización. Tal reagrupamiento también está reflejado en el aumento lento del contenido de cloro en el condensado de metilclorosilanos.

5.8.3 Mezcla de Silicio y Cobre reducido:

Cuando el cloruro de cobre es reducido con polvo de silicio comercial y la mezcla es calentada a 265°C en un tubo de vidrio, una rápida reacción tiene lugar con la evolución del tetracloruro de silicio y la deposición del cobre reducido sobre el silicio. La masa residual encontrada tiene alta reactividad hacia el cloruro de metilo cuando es calentada a 300°C , el primer producto obtenido en mayor proporción es dimetildiclorosilano.

Después que la cuarta parte de silicio ha sido consumido, la preparación de compuestos más altos en cloro comienza a subir. En el punto donde se consumió el 60% de silicio, todo el condensado se destiló fraccionalmente.

El destilado está compuesto: 11,8% de metildiclorosiloxano, 9,4% de Cl_4Si y otras sustancias de punto de ebullición de 61°C (36,8% de metiltriclorosilano, y 42,1% de dimetildiclorosilano).

En estas y otras preparaciones de la masa de cobre- silicio, también se encontró que tiene la misma gran reactividad y se produce principalmente dimetildiclorosilano y metiltriclorosilano.



5.8.4 Desde una mezcla sinterizada de silicio y cobre:

Se encontró que una mezcla simple de cobre reducido y silicio pulverizado es más satisfactoria que el silicio solo para la preparación de metilclorosilanos. Patnode hizo un mejoramiento por medio de la compresión de H₂ de la mezcla de polvos y sinterizándolas a una temperatura más baja que el punto de fusión del cobre, produciendo una masa de contacto porosa, en la cual se encontró que posee una alta reactividad con el cloruro de metilo. Con este método se obtienen mejores resultados en la preparación de dimetildiclorosilano.

5.9 Función de los Promotores

Los promotores de catalizador son agregados frecuentemente a la masa de contacto en muy pequeñas cantidades. El mecanismo de la reacción es poco conocido con respecto a la función que cumplen los promotores, ellos aceleran la difusión del silicio desde el centro de las partículas hasta la superficie.

Los promotores más conocidos son aluminio y zinc. En el curso del proceso de síntesis estos metales son convertidos en sus respectivos cloruros. El cloruro de aluminio formado es muy volátil a la temperatura de reacción y es fácilmente sacado fuera de la masa de contacto por los productos gaseosos de la reacción y el cloruro de metilo no convertido.

El zinc y el aluminio forman un compuesto molecular no volátil. Grandes cantidades de Cl₃Al aceleran el cracking del cloruro de metilo por el cobre, Bazant muestra que también el zinc lo hace, aumentando en cantidades relativamente muy pequeñas los subproductos.

Para reducir la volatilidad del Cl₃Al en lugar de zinc puede usarse cloruro de sodio.

Bazant realizó una experiencia con 2% de NaAlCl₄ aumentando la masa de contacto en un reactor de lecho fluido. Los productos de la reacción contienen mucho más cloro que los correspondientes productos obtenidos sin la adición de NaAlSi₄. El porcentaje de dimetildiclorosilano fue de un 50% a 90%. Se pudo confirmar estas observaciones en un reactor de lecho fijo en el cual se agregó un 3% de NaAlCl₄ a la masa de contacto. El porcentaje de dimetildiclorosilano fue en este caso desde un 65% a un 40%.

Los resultados son diferentes cuando solamente se agrega 0,2% de NaAlCl₄. Bajo estas condiciones se observa un efecto realmente favorable por parte del promotor. De Wet



encontró una velocidad alta y constante en la producción de metilclorosilanos sobre un largo período de conversión del silicio.

5.10 Óptima conversión del silicio y selectividad.

Hemos visto que una operación comercial llevada a cabo en un reactor de lecho fijo da como resultado altas conversiones de silicio (mayor al 80%), aunque a expensas de la selectividad (los productos de reacción contienen solamente el 60% de metildiclorosilano) porque en el curso de las corridas de temperatura la reacción ha ido aumentando hasta obtener una conversión pronunciada del silicio. Cabe destacar aquí que las altas conversiones obtenidas en un reactor de lecho fijo se deben a la necesidad de reducir los manipuleos de la masa de contacto, los tiempos improductivos y por lo tanto mejorar el rendimiento máximo global del reactor.

Un alto grado de selectividad puede obtenerse solamente a temperaturas de reacción bajas. Altas temperaturas favorecen particularmente al craqueo del cloruro de metilo. Entonces, el sistema de lecho fluido es usado preferiblemente para reacciones exotérmicas porque mejoran las propiedades de transferencia térmica y favorecen la alta selectividad.

La conversión del silicio está impedida por la formación de cobre libre y carbón, los cuales se aglomeran con silicio parcialmente convertido y se acumulan en el reactor. Estos aglomerados conducen al craqueo del cloruro de metilo, es evidente que en la medida que se evita el cracking del cloruro de metilo se conseguirá aumentar la conversión del silicio y la selectividad.

De acuerdo con Rochow, este cracking es catalizado con el Cu libre, mientras Klevansky y Trambonze establecen que la fase N' es el catalizador propiamente dicho para la conversión selectiva del silicio y ClCH_3 en dimetildiclorosilano.

Combinando las dos hipótesis podemos concluir que el cobre libre presente en la masa de contacto nueva y liberada durante la conversión del silicio en dimetildiclorosilano será convertido en una sustancia poco activa.

En otra experiencia se agregó azufre a la masa de contacto nueva (conteniendo Si, Cu, Zn y NaAlCl_4), se estudió la influencia de la temperatura de reacción y el tiempo de residencia sobre la velocidad de producción y selectividad. A 360°C se obtuvo un 75 a 80%



de dimetildiclorosilano para un tiempo de residencia corto en el experimento. La velocidad de producción para este producto fue también muy alta (150-180 g/kg de Si hora).

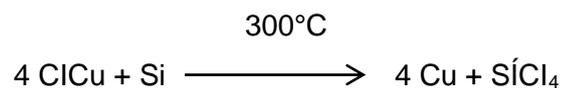
Se ha probado también con cloruro de metilo durante 13 horas a 325°C -350°C hasta conseguir el ataque casi total del silicio.

La conversión del Si es de un 50% al final del periodo de reacción. Durante el período de temperaturas elevadas (340-380°C) la masa de contacto puede ser irreversiblemente inactivada. Después de la restauración de la actividad y selectividad, ambos permanecen constantes a lo largo del experimento. Comparando estos resultados con los experimentados sin la adición de azufre a la masa de contacto está claro que la conversión de cobre libre baja mucho la actividad del sulfuro y se tiene una influencia benéfica sobre ambos, conversión de Si y selectividad hacia la formación del dimetildiclorosilano.

5.11 Masa de contacto.

Consiste en silicio cubierto o mezclado con cobre. Se mezclan por sinterizado de silicio metálico y polvo de cobre.

Otro camino para realizar esto y obtener un buen contacto es la reducción del óxido de cobre precipitado sobre las partículas de silicio. Uno de los métodos más conocidos es la reducción del cloruro de cobre en un exceso de silicio a temperatura mayor a los 265°C, de acuerdo con la reacción:



El ClCu debe ser finamente pulverizado. El Cu así formado está parcialmente como un compuesto inter metálico con el silicio.

De acuerdo con Trambonze y Klevansky, el compuesto inter metálico (también llamado fase N' en el sistema binario Cu-Si) es considerado como la parte activa de la masa de contacto en la síntesis directa. La fase N' consiste en un 88% en peso de cobre y 12% en silicio.



CAPÍTULO 6

LOCALIZACIÓN

6.1 Localización de la Planta

La ubicación geográfica de la planta es un punto de fundamental importancia a tener en cuenta en el proyecto total de la misma. En este capítulo se efectuará la localización tanto macro como micro de dicha fábrica.

La localización óptima es la que contribuye en mayor medida a que se logre la máxima tasa de rentabilidad, logrando un costo unitario mínimo del producto.

6.1.1 Macro localización

Teniendo en cuenta la distribución geográfica de los proveedores de materias primas, de los posibles consumidores del producto elaborado y la ubicación de la competencia, se determinará la zona de localización de la empresa tomando como base las distancias a los mismos.

En la siguiente figura se puede observar la ubicación de los proveedores, consumidores y competidores.

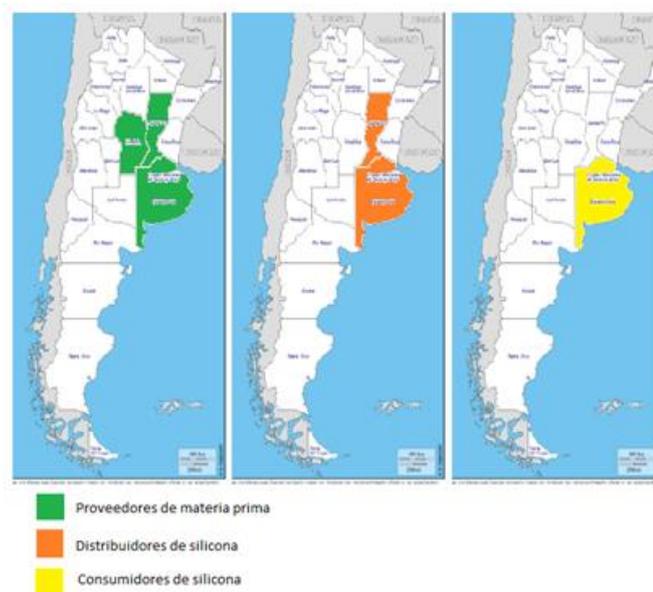


Figura 1: Distribución geográfica proveedores, consumidores y competidores.

Fuente: elaboración propia en base a datos recolectados.



Se puede observar que la actividad comercial tanto de proveedores, consumidores y distribuidores del producto se concentra en el centro del país, ésta ubicación estratégica, permite acaparar el mayor mercado posible favoreciendo una respuesta de entrega inmediata.

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, se considera que la zona más apropiada para radicar la empresa se encuentra en el centro del país, siendo precisamente la provincia de Córdoba, ya que es equidistante a los proveedores y consumidores, y además no se encuentran plantas de la competencia, esto presenta una ventaja ya que se puede salir desde el centro a proveer los futuros consumidores con mayor facilidad y rapidez.

Se proponen como posibles localidades para la radicación de la empresa, teniendo en cuenta que las mismas cuentan con parque industrial:

- Villa María
- La Carlota
- San Francisco

6.1.2 Micro localización

Evaluación de alternativas de localización

- Efectuar un listado de alternativas posibles: se seleccionan dos, tres, cinco, etc., localidades posibles y aptas para instalar la industria proyectada.
- Considerar los factores que interesan para la localización:
 - Factores de producción
 - Factores socioeconómicos
 - Factores administrativos-comerciales
- Confeccionar un listado con los factores del punto 2 y establecer un orden de prioridades.
- Clasificar a cada factor con una puntuación y transformar a la misma con el fin de obtener una puntuación porcentual.



- Proceder a la evaluación de cada alternativa sobre la base de una nueva clasificación. Por alternativa se tendrán dos columnas:
 - Evaluación
 - Puntuación ponderada
- Sumar la columna de puntuación ponderada, y aquella que obtenga el mayor valor será la alternativa más adecuada.

Aplicación del método

- Localidades candidatas:
 - Villa María
 - La Carlota
 - San Francisco
- Los factores considerados como de mayor importancia son los siguientes:

Tabla 8: Factores considerados a tener en cuenta para la selección de la micro localización

Factores geográficos	Distancia a centros de proveedores de materia prima
Factores de producción	Disponibilidad de personal
	Suministro de energía eléctrica
	Disponibilidad de agua
	Disponibilidad de combustible
Factores económicos y sociales	Beneficios impositivos y crediticios
	Características climatológicas
	Eliminación de efluentes
Factores administrativos y comerciales	Distancia a centros consumidores
	Accesos y medios de comunicación disponibles
	Costo del terreno



- Orden de prioridades:
 - Distancia a centros proveedores de materia prima
 - Distancia a centros consumidores
 - Disponibilidad de agua
 - Suministro de energía eléctrica
 - Disponibilidad de combustible
 - Costo del terreno
 - Beneficios impositivos y crediticios
 - Acceso y medios de comunicación disponibles
 - Eliminación de efluentes
 - Disponibilidad de personal
 - Características climatológicas
- Asignación de puntajes

Tabla 9: Asignación de puntajes para determinar la micro localización

Factores	Puntaje	PR%
Distancia a centros de proveedores de materia prima	10	16,67
Distancia a centros consumidores	10	16,67
Disponibilidad de agua	8	13,33
Suministro de energía eléctrica	7	11,67
Disponibilidad de combustible	7	11,67
Costo del terreno	5	8,33
Beneficios impositivos y crediticios	4	6,67
Accesos y medios de comunicación disponibles	3	5,00
Eliminación de efluentes	3	5,00
Disponibilidad de personal	2	3,33
Características climatológicas	1	1,67
TOTAL	60	100



Puntaje: de 0 a 10

PR%: peso relativo porcentual del factor

6.1.3 Justificación del orden de prioridades

- Distancia a centros proveedores de materia prima: se considera este factor de gran importancia ya que existen en el país sólo cuatro empresas productoras de malta y únicamente la empresa Cargill de producción independiente no asociada a la elaboración de cerveza. Así mismo el lúpulo no representa un problema, a pesar que se ubica al sur del país, alejado de las ciudades propuestas, se puede acordar una o dos entregas anuales ya que los volúmenes que se necesitan son bajo.
- Distancia a centro consumidores: éste punto también se considera de importancia ya que existe en el mercado una gran competencia y buena distribución de la misma, como se muestra en la fig. 5.1, ubicar la planta en el centro del país permite llegar a los principales centros consumidores con mayor rapidez, como ya se mencionó en el punto 5.1 Macro localización.
- Disponibilidad de agua: el agua es uno de los recursos que abastecen la caldera y además se utiliza en etapas de enfriamiento, por lo tanto, es un factor de importancia. Asimismo, para este tipo de proceso el agua forma parte de la materia prima, y como tal debe cumplir con requisitos de calidad tanto físicos como químicos, se puede optar por un purificador-acondicionador de agua en caso de que las localidades seleccionadas no cumplan en su totalidad con las exigencias establecidas.
- Suministro de energía eléctrica: este factor es importante a tener en cuenta para el análisis ya que en el proceso se disponen de bombas y otros equipos que necesitan de energía.
- Disponibilidad de combustible: las necesidades de combustible son modestas, ya que la planta cuenta con una caldera, la cual requiere de gas natural para su funcionamiento, para generar vapor que se utiliza en cantidades considerables en la mayoría de las operaciones del proceso. Los parques industriales propuestos cuentan con red de gas natural.



- Costo del terreno: el terreno más barato es el de La Carlota, Siguiendo el de San Francisco y por último Villa María. Sin embargo, la diferencia existente no es elevada principalmente entre San Francisco y Villa María.

- Beneficios impositivos y crediticios:

San Francisco:

- Impuesto a los Ingresos Brutos: Toda empresa radicada en el Parque Industrial gozará de la exención del Impuesto a los Ingresos Brutos de la Provincia.
- Impuestos a los Sellos: Exención del mencionado impuesto.
- Impuesto Inmobiliario Provincial: Todas las empresas radicadas en el predio gozan de exención de este impuesto provincial. (Trámites a realizar por la empresa ante la Provincia).
- Tasa Municipal de Comercio e Industria: A nivel Municipal se halla exento de la Tasa por Comercio e Industria. (Previo trámite efectuado por la empresa ante el Municipio).
- Tasa Construcción: Exenta. En todos los casos los beneficios se extienden por un plazo máximo de diez años.

Villa María

Ordenanza Municipal N° 6440: la Ordenanza prevé eximiciones sobre los siguientes tributos y derechos:

- Contribución general por el consumo de energía eléctrica, contemplada en el Título XIII, Art. 220 inciso a) de la Ordenanza General Impositiva N° 3155 y sus modificatorias.
- Contribución que incide sobre la actividad comercial, industrial y de servicios, prevista en el Título III en la Parte Especial, de la Ordenanza General Impositiva N° 3155 y sus modificatorias.
- Contribución por servicios relativos a la construcción de obras privadas, determinada en la parte especial, Título XII, de la Ordenanza General Impositiva N° 3155 y sus modificatorias.
- Tasas, sellados y derechos de construcción previstos en la Ordenanza tarifaria vigente y Ordenanzas especiales.



Ley provincial N° 9727: Dicha ley tiene por objeto promover el desarrollo, la competitividad y la innovación de las Pymes Industriales.

Los postulantes deben presentar un proyecto industrial que persiga alguna de las siguientes finalidades:

- Modernización o innovación en productos o procesos.
- Protección del Medio Ambiente.
- Implementación de sistemas de gestión de calidad.
- Inversión en activos fijos.
- Conformación de grupos asociativos.
- Creación de empresas industriales innovadoras.

Beneficios: De acuerdo al tipo de proyecto los beneficios que otorga la presente ley son:

- Exenciones al pago de impuestos provinciales.
- Subsidio por cada nuevo trabajador que contraten por tiempo indeterminado.
- Subsidios al consumo de energía eléctrica incremental.
- Subsidios de hasta el 50 % de los honorarios del coordinador / gerente para grupos asociativos.
- Subsidio para la capacitación del personal.
- Asignaciones de partidas especiales para financiar o co-financiar proyectos de características innovadoras.

La Carlota

- Accesos y medios de comunicación: son importantes tanto para el abastecimiento de las materias primas como para la comercialización del producto. Los parques industriales seleccionados se encuentran ubicados sobre rutas estratégicas. En Villa María se ubica sobre la autopista Córdoba-Rosario, el de San Francisco sobre la ruta 158 que une el Mercosur y el parque de la Carlota sobre la ruta nacional N°8, rutas que unen los principales centros de consumo del país, que son Córdoba, Buenos Aires y la zona del litoral.



- Eliminación de efluentes: la planta produce efluentes sólidos los cuales no necesitan tratamiento ya que se pueden vender como subproducto para las industrias de alimento balanceado de consumo animal (restos de malta como resultado del proceso de maceración) y efluentes líquidos de lavado con cierta carga orgánica que deberán ser tratados antes de su descarga a los colectores públicos. Para este caso los parques industriales de Villa María y San Francisco disponen de afluentes cloacales y plantas de tratamiento.
- Disponibilidad de personal: este factor es medianamente importante, ya que contar con el personal más adecuado brinda confiabilidad y permite obtener rendimientos elevados. Se evaluará la disponibilidad de mano de obra en función del tamaño de la población y de los índices de desocupación. Como no fue posible obtener estos índices para cada localidad, se realizará el análisis utilizando los datos nacionales aportados por el INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). El índice de desocupación según el INDEC es de 7,6% sobre una Población Económica Activa del 46,9% (valores para 2012).

Tabla 3: Disponibilidad de personal según población activa y desocupada

Localidad	Población*	Población Económicamente Activa	Población Desocupada
Villa María	88000	41272	3137
La Carlota	12500	5863	446
San Francisco	62000	29078	2210

((*): Datos poblacionales según censo 2001.

- Características climatológicas: si bien los factores climatológicos tales como: vientos, lluvias, etc., tienen influencia en la localización de la planta, fue considerado de menor importancia frente a los otros, como las condiciones no varían bruscamente de una zona a otra, las tres quedan en igualdad de condiciones.

El puntaje de las alternativas se hace sobre una escala de 0 a 1:



Tabla 4: Ponderaciones para las distintas localidades analizadas. Fuente: elaboración propia.

Factor	Puntaje	P.R %	Villa María		La Carlota		San Francisco	
			P	P.P	P	P.P	P	P.P
Distancia a centros de proveedores de	10	24,39	0,9	21,95	0,8	19,51	0,8	19,51
Distancia a centros consumidores	10	24,39	0,9	21,95	0,8	19,51	0,9	21,95
Disponibilidad de agua	8	19,51	1	19,51	0,7	13,66	0,8	15,61
Costo del terreno	5	12,20	0,65	7,93	0,7	8,54	0,7	8,54
Accesos y medios de comunicación disponibles	3	7,32	1	7,32	0,9	6,59	1	7,32
Eliminación de efluentes	3	7,32	0,87	6,37	0,5	3,66	0,8	5,85
Disponibilidad de personal	2	4,88	0,9	4,39	0,4	1,95	0,8	3,90
Total	41	100	---	89,41	---	73,41	---	82,68

P.P: Puntaje Ponderado

$P.P = (P.R\%) \times \text{puntaje por factor para cada localidad.}$

Villa María es la localidad que obtuvo mayor puntaje como se puede observar en la tabla anterior el resultado quedó determinado principalmente por la disponibilidad de servicios, y distancia a los centros consumidores y proveedores.

6.2 Descripción de la localización

Como se ha mencionado anteriormente, la ciudad de Villa María cuenta con el “Parque Industrial y Tecnológico de Villa María S.E.M” (provincia de Córdoba).

El parque industrial se encuentra ubicado en el km 551,5 sobre ruta nacional 9, entre ruta provincial 2 y autopista Córdoba – Rosario, con una extensión de 84 hectáreas. El costo del metro cuadrado es de 3694 AR\$/m² (actualizado 10/11/2020).



La figura 2 muestra la ubicación del parque industrial y del terreno para la planta.

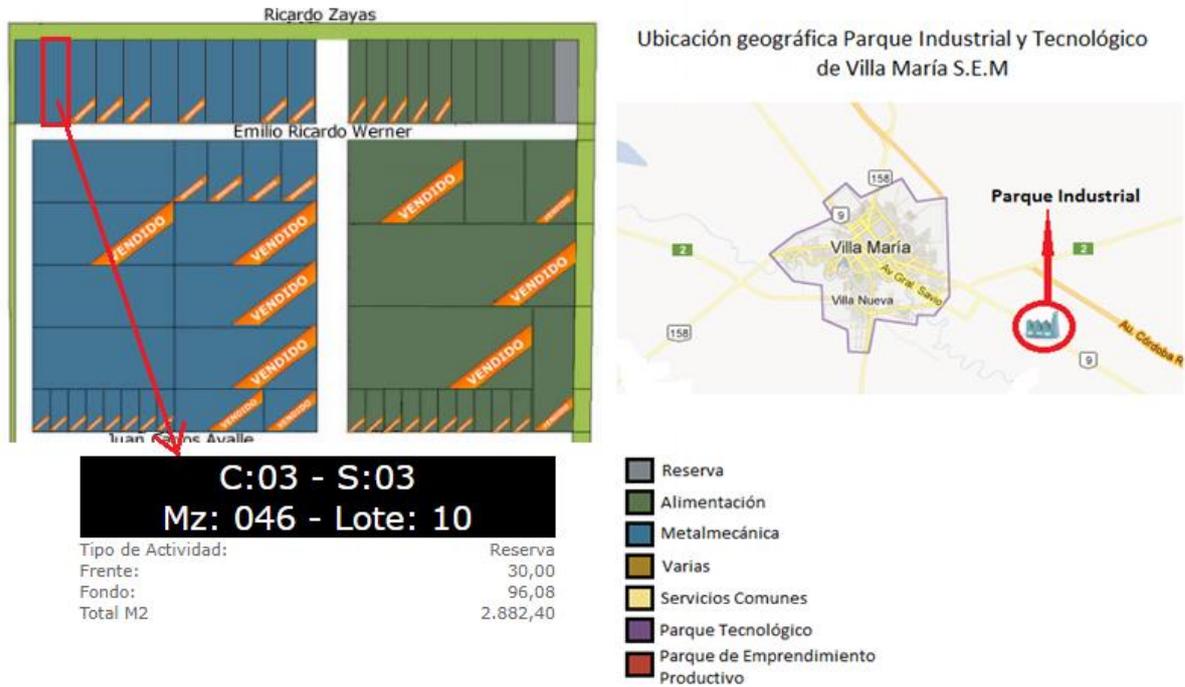


Figura 2: Plano parque industrial Villa María.

Fuente: Parque Industrial y Tecnológico de Villa María S.E.M.



CAPÍTULO 7 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

7.1 Balance de masa y energía

Se desarrollan los balances de masa y energía para el proceso de producción del dimetildiclorosilano en donde se tomarán los diferentes equipos de la planta por separado describiendo brevemente cada uno de ellos, ya que toda la información referente a dichos equipos se encuentra desarrollada en los demás capítulos y temas de este proyecto.

Se tomará como base de producción anual de 229824 kg de dimetildiclorosilano, en donde nuestra planta cubrirá dicha demanda funcionando 300 días al año y 14 horas al día repartido en 2 turnos de 8 horas. La producción diaria del dimetildiclorosilano es 957.6 kg/día.

En la figura N°1 se muestra un diagrama completo del proceso:

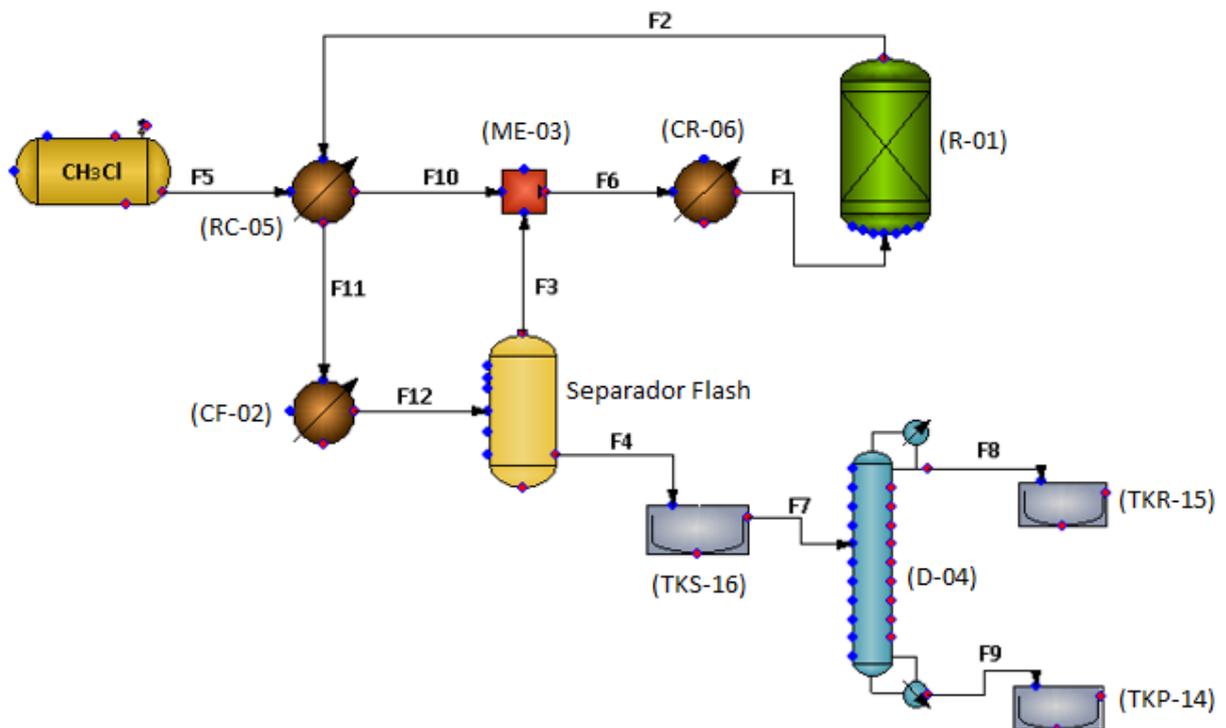


Figura 3: Diagrama general del proceso de obtención del dimetildiclorosilano.

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada



7.2 Balance de Masa General:

En la siguiente figura se muestra un esquema general de la producción del dimetildiclorosilano y sus derivados mediante el método directo.



Donde se consideran como silanos:

- $(\text{CH}_3)_3\text{SiCl}$ (TCS) (4)
- CH_3SiCl_3 (MTS) (5)
- $\text{CH}_3\text{SiHCl}_2$ (MDCS) (6)
- Otros (7)

Figura 4: Diagrama del balance general de obtención de dimetildiclorosilano por el método directo.

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada.

Tabla 10: Ecuaciones del balance de masa general del sistema.

ECUACIONES DE BALANCE DE MASA	Global	$F_4 + F_1 = F_{13} + F_{14}$	
	Parcial	CLORURO DE METILO (1)	$F_4 \cdot X_{4.1} + F_1 \cdot X_{1.1} = F_{13} \cdot X_{13.1} + F_{14} \cdot X_{14.1}$
		Si (2)	$F_4 \cdot X_{4.2} + F_1 \cdot X_{1.2} = F_{13} \cdot X_{13.2} + F_{14} \cdot X_{14.2}$
		DDS (3)	$F_4 \cdot X_{4.3} + F_1 \cdot X_{1.3} = F_{13} \cdot X_{13.3} + F_{14} \cdot X_{14.3}$
		TCS (4)	$F_4 \cdot X_{4.4} + F_1 \cdot X_{1.4} = F_{13} \cdot X_{13.4} + F_{14} \cdot X_{14.4}$
		MTS (5)	$F_4 \cdot X_{4.5} + F_1 \cdot X_{1.5} = F_{13} \cdot X_{13.5} + F_{14} \cdot X_{14.5}$
		MDCS (6)	$F_4 \cdot X_{4.6} + F_1 \cdot X_{1.6} = F_{13} \cdot X_{13.6} + F_{14} \cdot X_{14.6}$
		Otros (7)	$F_4 \cdot X_{4.7} + F_1 \cdot X_{1.7} = F_{13} \cdot X_{13.7} + F_{14} \cdot X_{14.7}$



7.2.1 Balance de masa en el reactor (R-01)

En este equipo reaccionarán las materias primas para producir la mezcla de monómeros pertenecientes a la familia de los silanos, la reacción ocurrirá a 5 atmosferas y 280°C. Se trata de un reactor semicontinuo el cual se carga una mezcla de silicio-cobre y se lo hace reaccionar con cloruro de metilo. La conversión para el silicio y el cloruro de metilo son 65% y 35% respectivamente, y la selectividad de la reacción con respecto al dimetildiclorosilano (DDS) es del 80%.

Como materias primas se utilizará una mezcla Si-Cu (en proporción 90% Si / 10% Cu) y la corriente de cloruro de metilo proveniente de un calentador.

El reactor se carga con 265.46 kg de mezcla Si-Cu (también denominada masa de contacto) mediante un tornillo sin fin. Luego comienza a suministrarse el cloruro de metilo desde un mezclador de gases que combina el gas que no reaccionó con una alimentación fresca.

Cada 14h la mezcla es retirada del reactor y reemplazada. Esto se debe a que pasado ese tiempo la velocidad de reacción baja drásticamente debido a la baja concentración de silicio.

En la Fig. N°3 se representan las corrientes involucradas en el reactor. Donde $F_1 = 159.18$ kg/h, cuya fracción es $X_{4.2}=1$ es el cloruro de metilo (CH_3Cl) que fue calentado hasta 280°C previamente en un intercambiador de calor que opera en circuito cerrado con un aceite térmico y $F_2= 159.178$ kg/h es la de los productos de reacción que contiene la mezcla de monómeros entre los que se encuentra nuestro producto y también cloruro de metilo sin reaccionar.

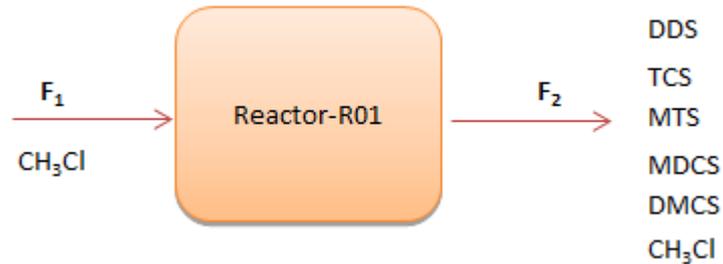


Figura 5: Diagrama del balance de masa en el reactor.

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada.

Tabla 11: Ecuaciones del balance de masa en el reactor.

ECUACIONES DE BALANCE DE MASA EN EL REACTOR	Global	$F_1 = F_2$		
	Parcial	CLORURO DE METILO (1)	$F_1 \cdot X_{1.1} = F_2 \cdot X_{2.1}$	
		Si(2)	$F_1 \cdot X_{1.2} = F_2 \cdot X_{2.2}$	
		DDS (3)	$F_1 \cdot X_{1.3} = F_2 \cdot X_{2.3}$	
		TCS (4)	$F_1 \cdot X_{1.4} = F_2 \cdot X_{2.4}$	
		MTS (5)	$F_1 \cdot X_{1.5} = F_2 \cdot X_{2.5}$	
		MDCS (6)	$F_1 \cdot X_{1.6} = F_2 \cdot X_{2.6}$	
		DMCS (7)	$F_1 \cdot X_{1.7} = F_2 \cdot X_{2.7}$	

De la resolución de las ecuaciones se obtienen las cantidades de cada uno de los componentes y sus fracciones en la mezcla, los resultados se detallan en la siguiente tabla.



Tabla 12: Composición másica de las corrientes de entrada y salida en el reactor

Compuesto	F ₁ (kg/h)	X ₁	F ₂ (kg/h)	x ₂
1	159.18	1	103.37	0.65
2	0	0	0	0.00
3	0	0	44.671	0.28
4	0	0	5.15	0.03
5	0	0	2.368	0.01
6	0	0	2.368	0.01
7	0	0	1.254	0.01

7.2.2 Balance de masa en el condensador (CF-02)

En este intercambiador se producirá una condensación parcial de la mezcla que ingresa al equipo por medio de la corriente que posee la misma masa que la corriente $F_2=159.178$ kg/h pero que ha dejado parte de su energía térmica en un recuperador (corriente F_{11}) de calor con el fin de precalentar la alimentación fresca de cloruro de metilo y así lograr un mejor aprovechamiento de la energía, por lo tanto, ingresa a una temperatura de 227 °C.

Esta corriente pasa a través del condensador y debido a la gran diferencia de puntos de ebullición del cloruro de metilo (-24°C) y el resto de los silanos (orden de los 60°C) se logrará una condensación casi total de estos últimos, mientras que la gran mayoría del cloruro de metilo permanecerá en estado gaseoso. Del equipo sale la corriente F_{12} que es conducida hacia un separador flash en el cual dividirá, por un lado, el cloruro de metilo que irá a recirculación y por otra la mezcla líquida de silanos que se dirigirá a un tanque de



almacenamiento que posteriormente será el que alimente la torre de destilación en la cual se separará el DDS.

Cabe destacar que para fines prácticos se ha considerado el separador flash como parte del mismo condensador. En la Fig. N°4 se muestran las corrientes afectadas en este equipo.

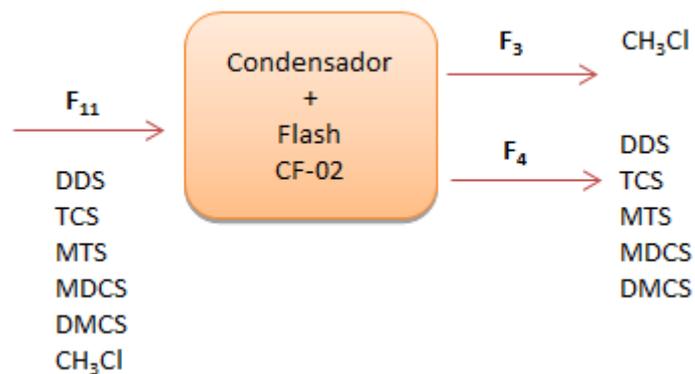


Figura 6: Diagrama del balance de masa en el condensador.

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada.

Tabla 13: Ecuaciones del balance de masa en el condensador:

ECUACIONES DE BALANCE DE MASA EN EL CONDENSADOR	Global	$F_{11} = F_3 + F_4$	
	Parcial	CLORURO DE METILO (1)	$F_{11}.X_{11.1} = F_3.X_{3.1} + F_4.X_{4.1}$
		Si (2)	$F_{11}.X_{11.2} = F_3.X_{3.2} + F_4.X_{4.2}$
		DDS (3)	$F_{11}.X_{11.3} = F_3.X_{3.3} + F_4.X_{4.3}$
		TCS (4)	$F_{11}.X_{11.4} = F_3.X_{3.4} + F_4.X_{4.4}$
		MTS (5)	$F_{11}.X_{11.5} = F_3.X_{3.5} + F_4.X_{4.5}$
		MDCS (6)	$F_{11}.X_{11.6} = F_3.X_{3.6} + F_4.X_{4.6}$
		DMCS (7)	$F_{11}.X_{11.7} = F_3.X_{3.7} + F_4.X_{4.7}$



Tabla 14: Composición másica de las corrientes de entrada y salida en el condensador.

Compuesto	F ₁₁ (kg/h)	X ₂	F ₄ (kg/h)	X ₄	F ₃ (kg/h)	X ₃
1	103.47	0.65	0.00	0.00	103.47	1.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	44.57	0.28	44.57	0.80	0.00	0.00
4	5.15	0.03	5.15	0.09	0.00	0.00
5	2.37	0.01	2.37	0.04	0.00	0.00
6	2.37	0.01	2.37	0.04	0.00	0.00
7	0,30	0,01	0,30	0,01	0,00	0,00

7.2.3 Balance de masa en el mezclador estático (ME-03)

En este equipo se mezclarán las corrientes de cloruro de metilo $F_3 = 103.47$ kg/h (retorno desde el condensador) a una temperatura de 35°C y a 1 atm. de presión y una corriente de alimentación fresca de cloruro de metilo gaseoso previamente calentada por la energía térmica de los productos de reacción que pasaron a través de un recuperador de calor antes de dirigirse al condensador. $F_{10}=55.71$ kg/h 200°C .

Desde este equipo sale la corriente $F_6 = 159.18$ kg/h a una temperatura de 94.3°C y una presión de 5 atm (teniendo siempre en cuenta las pérdidas por efecto de las cañerías) que se dirige hacia el calentador y así llevarla a la temperatura de reacción para luego ingresar al reactor.

A continuación, se detallan las ecuaciones:

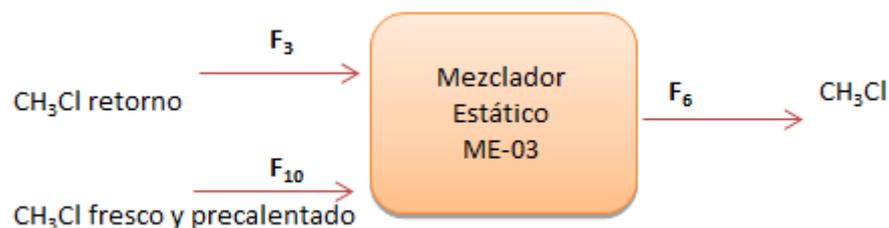


Figura 7: Diagrama del balance de masa en el mezclador estático.

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada.



Tabla 15: Ecuaciones del balance de masa en el mezclador estático.

ECUACIONES DE BALANCE DE MASA EN EL MEZCLADOR	Global	$F_3 + F_{10} = F_6$	
	Parcial	CLORURO DE METILO (1)	$F_3 \cdot X_{3.1} + F_{10} \cdot X_{10.1} = F_6 \cdot X_{6.1}$
		Si (2)	$F_3 \cdot X_{3.2} + F_{10} \cdot X_{10.2} = F_6 \cdot X_{6.2}$
		DDS (3)	$F_3 \cdot X_{3.3} + F_{10} \cdot X_{10.3} = F_6 \cdot X_{6.3}$
		TCS (4)	$F_3 \cdot X_{3.4} + F_{10} \cdot X_{10.4} = F_6 \cdot X_{6.4}$
		MTS (5)	$F_3 \cdot X_{3.5} + F_{10} \cdot X_{10.5} = F_6 \cdot X_{6.5}$
		MDCS (6)	$F_3 \cdot X_{3.6} + F_{10} \cdot X_{10.6} = F_6 \cdot X_{6.6}$
		DMCS (7)	$F_3 \cdot X_{3.7} + F_{10} \cdot X_{10.7} = F_6 \cdot X_{6.7}$

Tabla 16: Composición másica de las corrientes de entrada y salida en el mezclador estático.

Compuesto	F ₃ (kg/h)	X ₃	F ₁₀ (kg/h)	x ₅	F ₆ (kg/h)	X ₆
1	103.47	1.00	55.71	1.00	159.18	1.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

7.2.4 Balance de masa en la columna de destilación (D-04)

En esta columna se procederá a separar nuestro producto, el dimetildiclorosilano, de la mezcla de monómeros. La corriente de alimentación que ingresa al equipo es la $F_7 = 219.04$ Kg/h que proviene del tanque de almacenamiento TK-01 y posee una temperatura de 20°C y 1 atm de presión.



Se separará la mezcla de silanos dando como producto la corriente superior o “head” de la torre $F_8=34.56$ kg/h a una temperatura de 54°C que contiene los monómeros de metiltriclorosilano, trimetilclorosilano, metildiclorosiloxano, trimetilclorosiloxano y una ínfima fracción de dimetildiclorosilano y la corriente inferior o “bottom” representada por la corriente $F_9=184.47$ kg/h que sale de la torre a una temperatura 70°C compuesta por 96% de DDS.

En la Fig. N°6 se detallan las corrientes



Figura 8: Diagrama del balance de masa en la columna de destilación.
Fuente: Elaboración propia en base a información arrojada por el simulador en Chemcad.

Tabla 17: Ecuaciones del balance de masa en la columna de destilación.

ECUACIONES DE BALANCE DE MASA EN COLUMNA DE DESTILACIÓN	Global	$F_7 = F_8 + F_9$	
	Parcial	CLORURO DE METILO (1)	$F_7 \cdot X_{7,1} = F_8 \cdot X_{8,1} + F_9 \cdot X_{9,1}$
		Si (2)	$F_7 \cdot X_{7,2} = F_8 \cdot X_{8,2} + F_9 \cdot X_{9,2}$
		DDS (3)	$F_7 \cdot X_{7,3} = F_8 \cdot X_{8,3} + F_9 \cdot X_{9,3}$
		TCS (4)	$F_7 \cdot X_{7,4} = F_8 \cdot X_{8,4} + F_9 \cdot X_{9,4}$
		MTS (5)	$F_7 \cdot X_{7,5} = F_8 \cdot X_{8,5} + F_9 \cdot X_{9,5}$
		MDCS (6)	$F_7 \cdot X_{7,6} = F_8 \cdot X_{8,6} + F_9 \cdot X_{9,6}$
		DMCS (7)	$F_7 \cdot X_{7,7} = F_8 \cdot X_{8,7} + F_9 \cdot X_{9,7}$



Tabla 18: Composición másica de las corrientes de entrada y salida en la columna de destilación.

Compuesto	F ₇ (kg/h)	X ₇	F ₈ (kg/h)	X ₈	F ₉ (kg/h)	X ₉
1	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
2	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
3	175.232	0.800	0.506	0.014	176.91	0.96
4	19.71	0.09	22.12	0.64	0.00	0.00
5	8.76	0.04	1.20	0.03	7.56	0.04
6	8.76	0.04	8.76	0.25	0.00	0.00
7	2.19	0.01	1.97	0.05	0.00	0.00

7.3 BALANCE DE ENERGÍA

La resolución del balance de energía se realiza planteando las ecuaciones de conservación de la energía en los equipos asumiendo que estos operan en estado estacionario. Se detallarán a continuación el desarrollo de los cálculos efectuados para el balance de energía en los distintos equipos.

7.3.1 Datos para el balance de energía

Tabla 19: Fracciones en peso para cada corriente del proceso

X _{1,1} =1.00	X _{4,3} =0.8	X _{7,4} =0.092	X _{9,3} =0.008
X _{2,1} =0.65	X _{4,4} =0.09	X _{7,5} =0.043	X _{9,4} =0.46
X _{2,3} =0.28	X _{4,5} =0.04	X _{7,6} =0.043	X _{9,5} =0.210
X _{2,4} =0.03	X _{4,6} =0.04	X _{7,7} =0.023	X _{9,6} =0.210
X _{2,5} =0.01	X _{4,7} =0.01	X _{8,3} =0.997	X _{9,7} =0.113
X _{2,6} =0.01	X _{5,1} =1.00	X _{8,4} =0.001	
X _{2,7} =0.01	X _{6,1} =1.00	X _{8,5} =0.001	
X _{3,1} =1.00	X _{7,3} =0.80	X _{8,6} =0.001	



Tabla 20: Valores de los caudales de las corrientes expresadas en Kg/h.

$F_1 = 159.18$	$F_5 = 55.71$	$F_9 = 10.96$
$F_2 = 159.18$	$F_6 = 159.18$	$F_{10} = F_5$
$F_3 = 103.47$	$F_7 = 54.76$	$F_{11} = F_2$
$F_4 = 54.76$	$F_8 = 44.63$	$F_{12} = F_{11}$

Tabla 21: Pesos moleculares de los componentes

$PM_1 (Si) = 28.085$	$PM_5 (MTS) = 108.53$
$PM_2 (CH_3Cl) = 50.4716$	$PM_6 (MDCS) = 115.033$
$PM_3 (DDS) = 129.060$	$PM_7 (DMCS) = 91.591$
$PM_4 (TCS) = 149.472$	$PM_8 (Cu) = 63.546$

Tabla 22: Cálculos de calores de vaporización

$(CH_3)_2SiCl_2$	CH_3SiCl_3	$(CH_3)_3SiCl_3$	CH_3SiHCl_3	$(CH_3)_2SiHCl_3$
$T_{Ew}=343.2 \text{ } ^\circ K$	$T_{Ew}=339.4 \text{ } ^\circ K$ $A=38.2$ $T_c=517 \text{ } ^\circ K$ $n=0.287$	$T_{Ew}=314.9 \text{ } ^\circ K$	$T_{Ew}=330.3 \text{ } ^\circ K$ $A=36.76$ $T_c=483 \text{ } K$ $n=0.313$	$T_{Ew}=309 \text{ } ^\circ K$
$\Delta H_{v1}=58.3 \text{ kcal/kg}$	$\Delta H_{v2}=A \cdot (1-T_{Ew}/T_c)^n \cdot 1000$	$\Delta H_{v3}=58.71 \text{ kcal/kg}$	$\Delta H_{v4}=A \cdot (1-T_{Ew}/T_c) \cdot 1000$	$\Delta H_{v5}=62.40 \text{ kcal/kg}$
$\Delta H_{v1}=\Delta H_{v1} \cdot (129.06/0.239)$		$\Delta H_{v3}=\Delta H_{v3} \cdot (108.53/0.239)$		$\Delta H_{v5}=\Delta H_{v5} \cdot (91.591/0.239)$
$\Delta H_{v1}= 3.148 \cdot 10^4 \text{ joule/mol}$	$\Delta H_{v2}= 2.812 \cdot 10^4 \text{ joule/mol}$	$\Delta H_{v3}= 2.666 \cdot 10^4 \text{ joule/mol}$	$\Delta H_{v4}= 2.642 \cdot 10^4 \text{ joule/mol}$	$\Delta H_{v5}= 2.391 \cdot 10^4 \text{ joule/mol}$



7.3.2 Reactor (R-01)

Tabla 23: Ecuaciones del balance de energía para el reactor.

ECUACIONES DE BALANCE DE ENERGÍA EN EL REACTOR	Global	$F1 \cdot H1 = F2 \cdot H2 + Q_{re} + \Delta H_r$
	Calor en la corriente de salida del reactor	$Q_{F2} = -15.4 \text{ kcal/h}$
	Calor generado por la reacción	$\Delta H_r = 600 \text{ kcal/kg}$
	Calor a extraer del reactor	$Q_{re} = 9.5508 \times 10^4 \text{ kcal/h}$

7.3.2.1 Desarrollo de los cálculos:

Temperatura de referencia de gases: $T_{ref} = 553 \text{ K}$

Suponiendo la temperatura de salida del reactor

$$T_{res} = 548 \text{ K}$$

$$T_{fm} = 538 \text{ K}$$

$$h1 = 0$$

$$h2 = x_{21} \cdot Cp_1 + x_{22} \cdot Cp_2 + x_{23} \cdot Cp_3 (548 - 553) + x_{24} \cdot Cp_4 + x_{25} \cdot Cp_5 (548 - 553) + x_{26} \cdot Cp_6 + x_{27} \cdot Cp_7$$

$$h2 = -47.081 \text{ joule/mol}$$

Peso molecular promedio de F_2 :

$$PMp = x_{21} \cdot PM1 + x_{22} \cdot PM2 + x_{23} \cdot PM3 + x_{24} \cdot PM4 + x_{25} \cdot PM5 + x_{26} \cdot PM6 + x_{27} \cdot PM7$$

$$PMp = 114.122 \text{ g/mol}$$

Peso molecular promedio de F_3 :

$$PMp1 = x_{3,1} \cdot PM1 + x_{3,8} \cdot PM8$$

$$PMp1 = 44.839 \text{ g/mol}$$

$$Q_{F2} = F2 \cdot h2 \cdot \frac{0,239}{PMp}$$

$$Q_{F2} = -15.7 \text{ kcal/h.}$$



El calor que se produce en la reacción es:

$$\Delta H_r = 600 \text{ kcal/kg}$$

La cantidad de calor liberado será:

$$Q_{re} = F_2 \cdot \Delta H_r$$

$$Q_{re} = 9.5508 \cdot 10^4 \text{ kcal/h. Calor que se extraerá del reactor.}$$

7.3.3 Recuperador de calor (RC-05)

Este equipo es utilizado para poner en contacto las corrientes de alimentación fresca de CH_3Cl (F5) y los productos de reacción (F2) con el fin de recuperar energía ya que los productos deben ser enfriados.

Tabla 24: Ecuaciones del balance de energía para el recuperador. Fuente: simulación en Chemcad.

ECUACIONES DE BALANCE DE ENERGÍA EN EL RECUPERADOR DE CALOR	Global	$F_5 \cdot H_5 = F_2 \cdot H_2 + Q_c$	
	Calor entregado	$Q_c = 8147.94 \text{ kcal/h}$	
	Corriente	F5	F2
	Temp. De entrada	280 °C	20 °C
	Temp. De Salida	227 °C	200 °C

7.3.4 Condensador (CF-02)

Tabla 25: Ecuaciones del balance de energía para el condensador. Fuente: simulación en Chemcad.

ECUACIONES DE BALANCE DE ENERGÍA EN EL CONDENSADOR	Global	$F_2 \cdot H_2 = F_3 \cdot H_3 + F_4 \cdot H_4 + Q_c$
	Calor a extraer del condensador	$Q_c = 13475.94 \text{ kcal/h}$
	Cantidad de agua necesaria para enfriar	$W_{\text{H}_2\text{O}} = 962.2173 \text{ l/h}$



7.3.5 Calentador pre-reactor (CR-06)

Se trata de un intercambiador de casco y tubo que recibe la mezcla de CH₃Cl proveniente del mezclador de gases y lo lleva a la temperatura de reacción utilizando como fluido calefaccionante un aceite térmico que opera en circuito cerrado junto a un calentador.

Tabla 26: Ecuaciones del balance de energía para el calentador pre-reactor. Fuente: simulación en Chemcad.

ECUACIONES DE BALANCE DE ENERGÍA EN EL CALENTADOR PRE-REACTOR	Global	$F6.H6 = F1.H1 + Q_c$
	Calor por entregar	$Q_c = 13475.94 \text{ kcal/h}$
	Cantidad de aceite	$W_{H_2O} = 96.044 \text{ l/h}$

7.3.6 Calentador para el aceite (CA-07)

Se trata de un equipo especialmente diseñado para el calentamiento de aceites térmicos, puede utilizar tanto gas natural como gas-oil para realizar la combustión. Para este caso se utilizará gas natural proveniente de la red y llevará nuestro aceite desde 200°C hasta 330°C.

Tabla 27: Ecuaciones del balance de energía para el calentador de aceite. Fuente: simulación en Chemcad.

ECUACIONES DE BALANCE EN EL CALENTADOR POR ACEITE TÉRMICO	Global	$F6.H6 + Q_{inter} = F1.H1$
	Calor necesario que entregar al aceite	$Q = 9745.63 \text{ kcal/h}$
	Gas natural necesario	$GN = 0.1622 \text{ m}^3/\text{h}$



7.3.7 Columna de destilación (D-04)

Tabla 28: Ecuaciones del balance de energía para la columna de destilación. Fuente: simulación en Chemcad.

ECUACIONES DE BALANCE DE ENERGÍA EN LA COLUMNA DE DESTILACIÓN	Global	$F7.H7 + Q_{reb.} = F8.H8 + F9.H9 + Q_{cond}$
	Calor por extraer del condensador	$Q_{F2} = 131619 \text{ kcal/h}$
	Calor suministrado por el reboiler	$Q_{F3} = 134061 \text{ kcal/h}$
	Temperatura de cabeza (°C) = 70 Temperatura de fondo (°C) = 54	



CAPÍTULO 8

DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS

8.1 Introducción

En el siguiente capítulo se desarrollará lo referido al diseño y adopción de todos los equipos involucrados en el proceso de obtención del dimetildiclorosilano. Se utilizará como base, tanto para diseñar como para adoptar equipos, los datos obtenidos en el capítulo seis (balance de masa y energía).

También es importante aclarar que todos los cálculos que corresponden a los equipos diseñados se realizaron mediante los softwares informáticos: Mathcad y Chemcad, pueden ser consultados si así se lo requiere.

Tabla 29: Criterios de especificación de equipos

Codificación	Equipo	Criterio de especificación
R-01	Reactor lecho fijo	Diseño
CF-02	Condensador	Diseño
ME-03	Mezclador estático	Adopción
D-04	Torre de destilación	Diseño
RC-05	Recuperador de Calor	Diseño
CR-06	Calentador Reactor	Diseño
CA-07	Calentador aceite	Adopción
T-08	Tornillo sin fin	Adopción
CD-09	Condensador (Torre de destilación)	Diseño
RD-10	Re-hervidor (Torre de destilación)	Diseño
TKSi-11	Tanque de almacenamiento Silicio	Adopción
TKCu-12	Tanque de almacenamiento Cobre	Adopción
TKS-13	Tanque de almacenamiento Silanos	Adopción
TKP-14	Tanque almacenamiento DDS	Adopción
TKR-15	Tanque de almacenamiento Residuos Silanos	Adopción
SF-16	Separador Fash	Diseño



8.2 Diseño

7.2.1 Dosificador de tornillo sin fin (T-08)

Al ser un proceso semicontinuo, cada cierto tiempo se deberá descargar y cargar nuevamente el reactor. Es por eso que se adoptará un elevador de tornillo sin fin modelo ASA-ESF-AX de la empresa "Astimec S.A" ya que este viene acoplado con una tolva que nos permitirá descargar en ella la masa de contacto que no ha reaccionado, mezclarla con alimentación fresca y elevarla hacia la zona de carga del reactor.

En la siguiente imagen se muestra el tornillo a adoptar y en la Tabla N°2 las respectivas especificaciones técnicas.



ASTIMEC[®] S.A.

Figura 9: Tornillo sin fin. Empresa ASTIMEC S.A



Tabla 30: Especificaciones técnicas. Fuente: ASTIMEC S.A

ESPECIFICACIONES

Velocidad	Aprox. 40 RPM
Capacidad de la Tolva	120 dm ³
Diámetro de Descarga	100 mm , 125 mm o 150 mm
Tensión Requerida	220 VAC, 1 fase, 60 Hz.
Consumo Aproximado	2.2 Kw
Motor Reductor	Tipo Coaxial de 1Hp, 40 RPM
Dimensiones	Largo 2.720 mm, Fondo 532 mm, Alto total 3.940 mm
Peso aprox.	350 Kg. (neto)

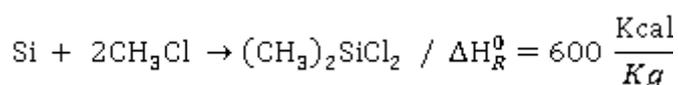
8.2.2 Reactor catalítico de lecho fijo (R-01)

La reacción química en la cual se producirá el DDS será llevada a cabo en un reactor isotérmico tubular de lecho fijo, en el cual los tubos estarán empaquetados con la masa de contacto y por los cuales circulará el cloruro de metilo gaseoso.

Las condiciones de operación estarán en el rango de entre 6-8 atm de presión y entre 280 y 300 °C. Esto con el fin de aumentar la selectividad de la reacción hacia el DDS.

8.2.2.1 Parámetros cinéticos

Se utilizará el método directo o Rochow cuya reacción principal es la siguiente



Para el cálculo de la velocidad de reacción en una reacción catalítica sólido/gas heterogénea se deben tener en cuenta seis parámetros diferentes:

- 1- Difusión del gas reactante (CH₃Cl) hacia los sitios activos del catalizador.
- 2- Adsorción en la superficie del sólido.
- 3- La reacción real en la superficie.
- 4- Desorción de los productos gaseosos.
- 5- Difusión de los productos gaseosos dentro de la fase gaseosa.
- 6- La difusión de los átomos de silicio a través de la fase sólida sobre las zonas más catalíticamente activas.



Para nuestro proceso la ecuación de la velocidad de reacción viene representada por la siguiente ecuación.

$$r = \frac{k * K_A * P_A}{(1 + \sqrt{K_A * P_A} + K_B * P_B)^2}$$

Dónde:

- r = Velocidad de reacción, mol CH_3Cl / Kg Cu * h.
- k = Constante de velocidad de reacción, mol CH_3Cl / Kg Cu * h.
- P_A = Presión parcial del CH_3Cl , atm.
- P_B = Presión parcial del DDS, atm.
- K_A = Constante de adsorción del CH_3Cl , atm^{-1}
- K_B = Constante de adsorción del DDS, atm^{-1}

Una vez obtenida la velocidad de reacción se prosigue a calcular la cantidad de catalizador necesaria mediante la ecuación de flujo pistón.

$$\frac{W}{F} = \int_{X_0}^X \frac{dX}{r}$$

Esta ecuación nos aportará los datos no solo de la cantidad de catalizador necesaria sino también el tiempo de residencia del CH_3Cl en el reactor. Ambos datos son fundamentales para el diseño de este.

A continuación, se presentarán tabulados los valores de los parámetros utilizados en las ecuaciones antes presentadas y los resultados de estas.



Tabla 31: Parámetros para diseño del reactor. Fuente: elaboración propia

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad de reacción (r)	33.7	mol CH ₃ Cl / Kg Cu * h
Constante de velocidad de reacción (k)	5970	mol CH ₃ Cl / Kg Cu * h
Presión parcial del CH ₃ Cl (P _A)	5.515	Atm
Presión parcial del DDS (P _B)	1.485	Atm
Constante de adsorción del CH ₃ Cl (K _A)	280*10 ⁻⁵	Atm ⁻¹
Constante de adsorción del CH ₃ Cl (K _B)	520*10 ⁻³	Atm ⁻¹
Caudal molar de CH ₃ Cl por tubo (F)	0.082	lb mol / h
Masa de catalizador por tubo (W)	0.686	lb
Conversión del CH ₃ Cl (X)	0.35	Adimensional
Tiempo de residencia (W/F)	8.42	h lb Cu / lb mol CH ₃ Cl

Tabla 32: Características del catalizador

Nombre del catalizador	Cobre (Cu)
Fabricante	Industrias Quimetal
Diámetro de partícula	0.48mm
Comercializado en:	Pellet
Porosidad	0.5
Superficie específica de reacción	530.41 m ² /Kg
Densidad	8960 kg/m ³

8.2.3 Diseño del reactor lecho fijo

Adoptar la estructura de un intercambiador de calor de casco y tubo como modelo para el reactor nos permitirá un adecuado control de la temperatura, garantizando que la reacción sea isotérmica. La refrigeración de este será provista por agua de enfriamiento, la cual opera en circuito cerrado y será explicado en detalle en el capítulo correspondiente a servicios auxiliares.



Tabla 33: Condiciones de operación y dimensiones del reactor R-01

	Composición	Temperatura (°C)	Caudal/Cantidad	Fracción másica
Corriente F1	CH ₃ Cl	280	159.18 Kg/h	CH ₃ Cl puro
Masa de contacto dentro del reactor	Si - Cu	280	265.46 Kg	Si - 0.9 Cu - 0.1
Calor de reacción (kcal/kg)		Calor a extraer del reactor (kcal/h)		
600		9.5508 x 10 ⁴		
Presión (atm)				
6				
Caída de Presión (lb/pie²)				
Tubos		Coraza		
5.942		0.085		
Dimensiones del Reactor R-206				
Volumen calculado (V _{RC})		0.25 m ³		
Porcentaje de Sobredimensionamiento		~20%		
Volumen real (V _{RE})		0.3 m ³		
Longitud (L)		4.5 m		
Presión de operación		5 atm		
Temperatura de operación		280 °C		
Características de la Coraza				
Tipo de material		Acero Inoxidable AISI 316L Cédula 5		
Diámetro interno coraza (D _{IR})		0.591 m		
Espesor de pared		1 mm		
Presión de trabajo admisible		3 atm		
Temperatura admisible		326°C		
Características de los Tubos				
Cantidad de tubos		85		
Tipo de material		Acero Inoxidable AISI 316L Cédula 5		
Espesor de pared		0.33 mm		
Diámetro interno de tubo (D _{IT})		2.83 cm		
Cantidad de catalizador		26.449 kg		
Presión de trabajo admisible		7 atm		
Temperatura admisible		326°C		
Tipo de Flujo		Laminar		



8.2.4 Calentador pre-reactor (CR-06)

La función de este equipo es aportar al CH₃Cl fresco que está por ingresar al reactor la energía necesaria para alcanzar la temperatura de reacción (280°C). Para esto se ha diseñado un intercambiador de casco y tubo en donde por los tubos circula el CH₃Cl proveniente del mezclador estático de gases y por la coraza un fluido térmico provisto por la empresa “Eastman” que opera en circuito cerrado con un calentador por combustión de gas natural.

Tabla 34: Información general del calentador

Datos generales	
Clase / tipo de intercambiador	R/AEL
Diámetro interno de la coraza	20.32 cm
Numero de tubos	47
Longitud de tubos	1.83 m
Diámetro externo de los tubos	1,90 cm
Diámetro interno de los tubos	1,57 cm
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	2,38 cm
Numero de pasos por los tubos	1
Numero de baffles	43
Separación entre baffles	5.14 cm
Segmentación de baffles	15%
Tipo de baffles	Simple segmentación
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia	4.65 m ²
Área requerida	2.46 m ²
U (calculado/ de servicio)	39.99/21.18 kcal/(h*m ² *°C)
Calor calculado	13845.67 kcal/h
Calor especificado	7332.51 kcal/h
Exceso de área	88.83 %
Factor de Obstrucción	2.048E-004
Delta P (coraza / tubos)	0.03/0.02 atm
Coeficiente de película para la coraza	59.31 kcal/(h*m ² *°C)
Coeficiente de película para los tubos	158.20 kcal/(h*m ² *°C)



8.2.5 Calentador de aceite térmico CA-07

Este equipo es el encargado de calentar el aceite térmico que va a calefaccionar el CH₃Cl en el equipo CA-07.

Se adopta un calentador de la marca “Thermofluid” modelo TF- 70 provisto por la empresa “TecnicaCDC”. El fluido térmico en cuestión se trata de m-terfenilo provisto por la empresa “Eastman”. En la siguiente ilustración se muestra el equipo a emplear junto con las especificaciones técnicas del mismo

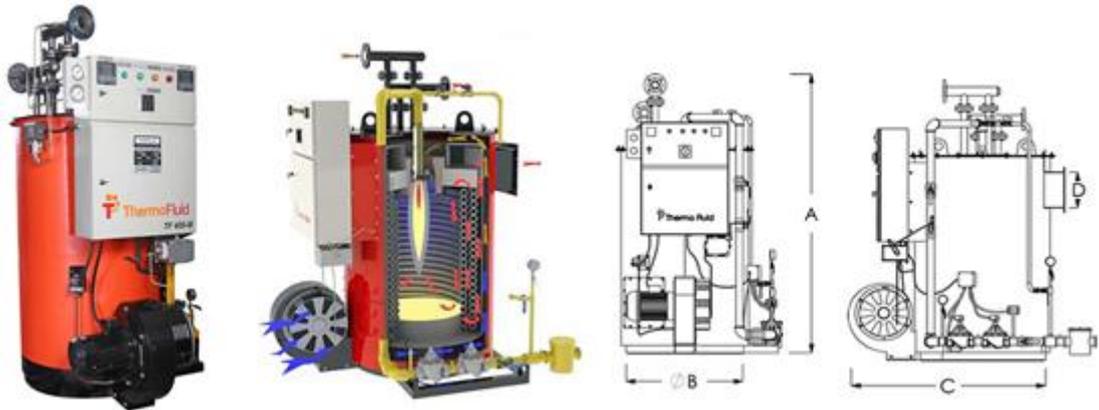


Figura 10: Imagen ilustrativa del calentador

Tabla 35: Especificaciones técnicas. Fuente: Técnica CDC

Modelo Calentadores Thermofluid®	Capacidad Calórica Neta 1000 kcal/h	Contenido de Aceite	Consumo de Gasoil lts/ h	Consumo de Gas Natural m3/ h	Alimentación de Gasoil Ø mm	Alimentación de Gas Natural Ø mm
TF-70	70	11	8	8	13	25

Modelo Calentadores Thermofluid®	Capacidad Calórica Neta 1000 kcal/h	A mm.	ØB mm.	C mm.	D mm.	Peso kg
TF-70	70	1120	465	600	250 x 100	220



8.2.6 Intercambiador de calor (recuperador de calor RC-05)

La mezcla gaseosa compuesta de silanos y cloruro de metilo que abandona el reactor lo hace a una elevada temperatura. Como esta corriente ha de ser enfriada para lograr condensar los silanos, se puede aprovechar la energía térmica de la misma antes que ingrese al condensador mediante un recuperador de calor. Aquí, se transmitirá parte de esa energía a la alimentación fresca de cloruro de metilo y este último ingresará al calentador que precede al reactor a una temperatura mucho mayor a la de almacenamiento, logrando así una mejor integración energética.

Se trata de un intercambiador de casco y tubo en donde por la coraza circulará la mezcla gaseosa proveniente del reactor (CH_3Cl + Silanos) y por los tubos el CH_3Cl fresco proveniente del cilindro que contiene el mismo.

Tabla 36: Información general de diseño del recuperador de calor.

Datos generales	
Clase / tipo de intercambiador	R/AEL
Diámetro interno de la coraza	15.24 cm
Numero de tubos	10
Longitud de tubos	1.83 m
Diámetro externo de los tubos	1,90 cm
Diámetro interno de los tubos	1,57 cm
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	2,38 cm
Numero de pasos por los tubos	4
Numero de baffles	127
Separación entre baffles	1.08 cm
Segmentación de baffles	15%
Tipo de baffles	Simple segmentación
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia	0.83 m ²
Área requerida	0.51 m ²
U (calculado/ de servicio)	35.57/21.80 kcal/(h*m ² *°C)
Calor calculado	3623.82 kcal/h
Calor especificado	2220.78 kcal/h
Exceso de área	63.18 %
Factor de Obstrucción	2.048E-004
Delta P (coraza / tubos)	0.46/0.01 atm
Coeficiente de película para la coraza	73.99 kcal/(h*m ² *°C)
Coeficiente de película para los tubos	85.76 kcal/(h*m ² *°C)



8.2.7 Mezclador de gases (ME-03)

En este equipo se produce la mezcla de CH_3Cl que no reaccionó con el de alimentación fresca (F3) y con los gases de síntesis (corriente F10) que no reaccionaron en el reactor R-01. Tiene como objetivo homogenizar la mezcla de gases recuperando de esta manera los que no reaccionaron en el reactor y que puedan hacerlo. Este mezclador estático se compone de ciertas placas como se explica en el diagrama del proveedor Novatec Fluid System S.A. Para la operación deseada se adopta el modelo MX-12000. En la fig. N°3 se muestra un corte lateral del mismo.

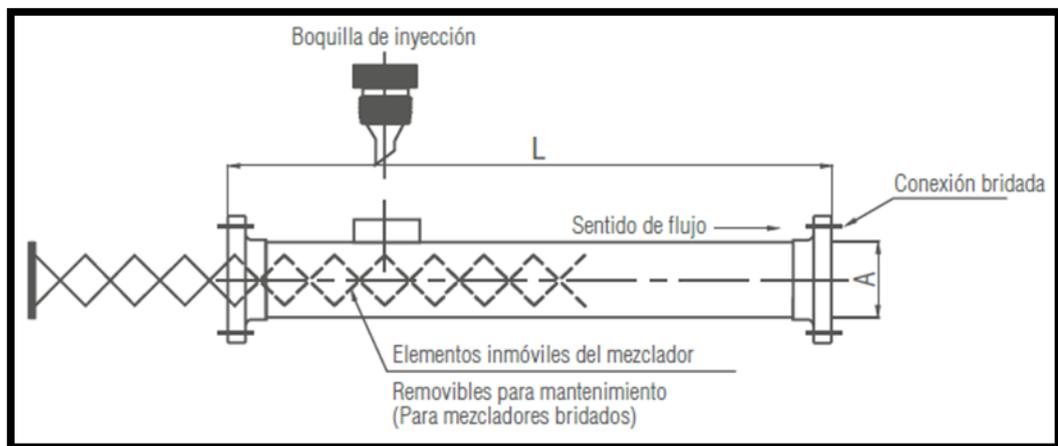


Figura 11: Corte lateral del mezclador M-302 modelo Mx-12000

8.2.7.1 Funcionamiento

- 1- La bomba empuja el líquido del mezclador
- 2- El flujo es cortado y forzado a dirigirse contra las paredes opuestas de la tubería
- 3- Un vórtice es creado axialmente en la línea central de la tubería.
- 4- El vórtice es cortado de nuevo y el proceso ocurre, pero en rotación contraria. Esos cambios de rotación aseguran un producto final homogéneo.

De acuerdo con el diámetro de la cañería se fija la velocidad para la mezcla en 20 pulgadas. Teniendo en cuenta el mismo se calcula la velocidad del gas en la misma:



$$D_c = 0,508 \text{ m}$$

$$Q_{vg} = 4291 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = \frac{Q_{vg}}{\frac{\pi \cdot D_c^2}{4}} = 5,88 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

De acuerdo con este cálculo la velocidad de desplazamiento del gas por el mismo será de 5,881 m/s, lo cual es una velocidad aceptable que evitara que la caída de presión sea demasiado elevada.

Tabla 37: Información general de diseño. Fuente: Elaboración propia.

Caudal de alimentación admisible	1,1- 1,70 m ³ /s
Rango de presión	0.5 - 5 atm
Diámetro de cañería	0,50 m
Longitud de cañería	1,30 m
Velocidad de desplazamiento	5,88 m/s
Material	Acero 316
Números de elementos internos	7

8.2.8 Condensador (CF-02)

Este intercambiador de calor recibe la corriente F11 proveniente del recuperador de calor y cumple una doble función. Por un lado, disminuirá la temperatura de los silanos para su almacenamiento y por otro actuará como condensador permitiéndonos, debido a la gran diferencia de puntos de ebullición, separar la mayoría de la mezcla de silanos que condensarán mientras que el cloruro de metilo permanecerá siempre gaseoso. Sin embargo, la condensación de los silanos no es total (del orden del 90%) por lo que será necesario agregar un separador flash (SF-16) a la salida de este equipo.

Se trata de un intercambiador de casco y tubo en donde el agua circula por los tubos y por el casco la mezcla de silanos junto con el cloruro de metilo no reaccionante.



Tabla 38: Información general de diseño. Fuente: Elaboración propia.

Datos generales	
Clase / tipo de intercambiador	R/AEL
Diámetro interno de la coraza	20.32 cm
Numero de tubos	28
Longitud de tubos	2.44 m
Diámetro externo de los tubos	1,90 cm
Diámetro interno de los tubos	1,57 cm
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	2,38 cm
Numero de pasos por los tubos	6
Numero de bafles	43
Separación entre bafles	5.14 cm
Segmentación de bafles	15%
Tipo de bafles	Simple segmentación

Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia	3.79 m ²
Área requerida	3.12 m ²
U (calculado/ de servicio)	134.00/110.21 kcal/(h*m ² *°C)
Calor calculado	16213.58 kcal/h
Calor especificado	13335.38 kcal/h
Exceso de área	21.58 %
Factor de Obstrucción	2.048E-004
Delta P (coraza / tubos)	0.01/0.02 atm
Coeficiente de película para la coraza	167.85 kcal/(h*m ² *°C)
Coeficiente de película para los tubos	1195.92 kcal/(h*m ² *°C)

7.2.9 Separador Flash (SF-16)

La función principal de ese equipo es separar las corrientes gaseosas de las corrientes líquidas además de evaporar el pequeño remanente de cloruro de metilo contenido en la mezcla líquida de silanos. La corriente gaseosa comprende CH₃Cl que será recuperado y enviado al mezclador de gases para reingresar al reactor. La corriente líquida comprende la mezcla de silanos que se dirigirán al tanque de almacenamiento (TKS-13) para su posterior destilación

Este equipo se diseña semejante a una columna de destilación de un único plato para separación de componentes mediante ChemCAD.



Tabla 39: Información general de diseño para el separador flash. Elaboración propia.

Datos generales	
Presión de operación	1 atm
Presión de diseño	1.2 atm
Fracción de vapor	1.00
Tipo	Elipsoidal
Longitud	1.87 m
Diámetro interno	0.45 m
Relación longitud/diámetro	4.10
Volumen total	0.33 m ³
Nivel máximo de líquido	0.056 m
Nivel normal de líquido	0.047 m
Espesor de la coraza	0.635 cm
Espesor del cabezal	0.635 cm
Velocidad máxima	1.115 m/seg
Material	Acero al carbono

8.2.10 Torre de destilación (D-04)

La operación final para la obtención de dimetildiclorosilano se lleva a cabo la siguiente columna de destilación de la cual se obtiene el producto antes mencionado al 95.9% en peso.

Como la mayoría de los equipos, esta torre también fue diseñada utilizando el simulador Chemcad y sus características/especificaciones serán detalladas a continuación.

- Columna 1 sección.
- Bandeja de tamiz.
- Cantidad total de platos: 37
- Número de plato de alimentación: 19

Tabla 40: Información general de diseño de la torre de destilación. Elaboración propia en base a simulación en Chemcad.

Datos generales	
Diámetro	0.61 m
Altura de la torre	3 m
Numero de platos	37
Espaciamiento	8 cm
Caída de presión	0.2 atm
% Flood	76.01
Numero de pasos	1
secciones	1



Como se menciona anteriormente para el diseño de esta columna se ha seleccionado una bandeja de tamiz debido a que ofrece gran efectividad para una amplia gama de flujos, elevada eficiencia y bajo costo. La energía necesaria para poner en funcionamiento la torre será provista por el rehervidor el cual será detallado a continuación.

8.2.11 Rehervidor torre de destilación (RD-10)

Se trata de un intercambiador de casco y tubo el cual cumplirá la función de rehervidor de la torre de destilación. Por los tubos circulará la corriente de “fondo” de la torre (la mezcla líquida de silanos) que necesita ser calentada para posteriormente reingresar a la torre y por el casco vapor proveniente de la caldera.

Tabla 41: Información de diseño del rehervidor de la torre de destilación. Elaboración propia.

Datos generales	
Clase / tipo de intercambiador	R/AEL
Diámetro interno de la coraza	15.24 cm
Numero de tubos	23
Longitud de tubos	1.5 m
Diámetro externo de los tubos	1,90 cm
Diámetro interno de los tubos	1,57 cm
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	2,38 cm
Numero de pasos por los tubos	1
Numero de bafles	98
Separación entre bafles	1.19 cm
Segmentación de bafles	15%
Tipo de bafles	Simple segmentación



Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia	1.65 m ²
Área requerida	1.35 m ²
U (calculado/ de servicio)	1119.54/932.35 kcal/(h*m ² *°C)
Calor calculado	161733.28 kcal/h
Calor especificado	134690.47 kcal/h
Exceso de área	20.08 %
Factor de Obstrucción	2.048E-004
Delta P (coraza / tubos)	0.31/0.09 atm
Coeficiente de película para la coraza	8961.87 kcal/(h*m ² *°C)
Coeficiente de película para los tubos	4227.52 kcal/(h*m ² *°C)

8.2.12 Condensador torre de destilación (CD-09)

Este intercambiador actuará como condensador de la torre de destilación. Se trata de un intercambiador de casco y tubo en el cual por los tubos circula agua de enfriamiento y por la coraza los vapores de cabeza de la torre, de los cuales una fracción es condensada y retorna a la torre mientras la otra se retira del mismo en forma de gas y se dirige hacia el tanque de almacenamiento de DDS (TKP-14).

Tabla 42: Información de diseño del condensador de la destilación. Elaboración propia.

Datos generales	
Clase / tipo de intercambiador	B/AEL
Diámetro interno de la coraza	25.4 cm
Numero de tubos	53
Longitud de tubos	3.00 m
Diámetro externo de los tubos	1,90 cm
Diámetro interno de los tubos	1,57 cm
Arreglo de los tubos	Trigonal 60
Pasos de los tubos	2,38 cm
Numero de pasos por los tubos	4
Numero de baffles	31
Separación entre baffles	9.10 cm
Segmentación de baffles	17%
Tipo de baffles	Simple segmentación



Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia	9.23 m ²
Área requerida	7.52 m ²
U (calculado/ de servicio)	639.86/521.19 kcal/(h*m ² *°C)
Calor calculado	160924.00 kcal/h
Calor especificado	131078.23 kcal/h
Exceso de área	22.77 %
Factor de Obstrucción	2.048E-004
Delta P (coraza / tubos)	0.46 / 0.16 atm
Coeficiente de película para la coraza	1329.34 kcal/(h*m ² *°C)
Coeficiente de película para los tubos	3812.68 kcal/(h*m ² *°C)

8.3 Adopción de bombas de proceso

En ciertas etapas del proceso productivo se requiere que el líquido fluya de un lugar a otro en una tubería. Para ello es necesario contar con una fuerza impulsora, que es suministrada por bombas. Para poder realizar la adopción de bombas involucradas en el proceso de producción se emplea el procedimiento detallado a continuación:

1. Se define la distribución y elevación para los equipos y tuberías teniendo en cuenta magnitudes tales como el diámetro, altura y nivel de líquido de los recipientes de proceso.
2. Se confecciona el diagrama tridimensional de tuberías, incluyendo válvulas, uniones y accesorios. Además, se selecciona el tipo de material de construcción.
3. Se adopta una velocidad de flujo en los tubos entre 1 y 3 m/s dependiendo el caso (R.H. Warring 1977). Con la velocidad y los caudales obtenidos en el balance de masa y energía se establecen los diámetros de las líneas.
4. Se calcula la pérdida de carga de la tubería y la pérdida de carga equivalente por longitud en válvulas, codos y accesorios (Ocon y Tojo).
5. Se estiman pérdidas de carga en los equipos como intercambiadores de calor, estas pérdidas se calcularon en el diseño de los equipos.
6. Se calcula la altura de impulsión neta requerida para la conducción del fluido y su respectiva potencia.



7. Se calcula la NPSH disponible en la aspiración de la bomba para el caso que sea necesario.

Se realiza la selección del tipo y modelo de bomba requerida de los catálogos de los fabricantes, considerando la altura de impulsión neta, la NPSH disponible y el caudal volumétrico necesario.

8.3.1 Procedimiento de cálculos para la adopción de bombas

8.3.1.1 Pérdidas de carga del sistema

Las pérdidas de carga del sistema se calculan con la siguiente expresión:

$$h_f = f \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Dónde:

- f = Factor de fricción.
- L_{eq} = Longitud equivalente (tubería + accesorios + codos).
- D = Diámetro interno del tubo.

8.3.1.2 Altura de impulsión neta

Para determinar la altura de impulsión se utiliza la ecuación de Bernoulli corregida, teniendo en cuenta la fricción del fluido en las tuberías, accesorios y equipos.

$$H_b = h_f + \left(\frac{P_2}{\delta \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 \right) - \left(\frac{P_1}{\delta \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 \right)$$

Dónde:

- H_b = Altura de impulsión neta.
- P_1 y P_2 = Presión sobre el fluido en los puntos de succión y descarga.
- Z_1 y Z_2 = Altura del nivel del líquido en los puntos de succión y descarga.
- V_1 y V_2 = Velocidad lineal del fluido en los puntos de succión y descarga.
- δ = Densidad del fluido



- h_f = Pérdidas por fricción en tubería, accesorios y equipos.
- g = Aceleración de la gravedad.

8.3.1.3 Potencia real de la bomba

La potencia ejercida por la bomba se calcula de la siguiente manera, se le adiciona un 10% de sobre diseño como margen de seguridad (PETERS – TIMMERHAUS, Cuarta edición). Con esta altura de elevación final H_b , se calcula la potencia de la bomba a adoptar mediante la fórmula:

$$P_B = \frac{(H_b \cdot Q_b \cdot g \cdot \delta)}{\eta}$$

Dónde:

- η = Rendimiento mecánico de la bomba.
- Q_v = Caudal volumétrico.

8.3.1.4 Altura neta de succión positiva disponible (NSPH Disponible)

Para calcular el NPSH disponible se utiliza la ecuación siguiente:

$$NPSH_{disp} = \frac{P_{atm}}{\delta \cdot g} \pm H - hf_{asp} - P_{vap}$$

Dónde:

- H = Altura desde el punto de aspiración hasta el eje de la bomba.
- hf_{asp} = Pérdida de carga en la tubería de aspiración.
- P_{vap} = Presión de vapor del fluido.

8.3.2 Características de las diferentes líneas de bombeo

En la siguiente tabla se detallan las distintas líneas de bombeo, junto con los caudales y propiedades de las corrientes del proceso:



Tabla 43: Cálculos de potencia de las bombas. Fuente: elaboración propia.

CALCULO DE LA POTENCIA DE LAS BOMBAS												
Código Bomba	Corriente	Desde	Hacia	Largo (m)	Q(Kg/hr)	Densidad (Kg/m3)	Q(m3/hr)	Diametro(m)	hf (m)	Hb	Pb (m2*g/s3)	Pb (HP)
B-01	Agua fria	Circuito Torre Enf.		20	13930	1	13,930	0,07	0,52	0,52	22045,46	16,42
B-02	Silanos	Tk. Silanos	T. Destilación	5	219,04	0,021	10,430	0,04	0,86	0,86	569,24	0,42
B-03	DDS	Cond. Dest	Tk. Almacen.	1	184,47	1,06	0,174	0,01	1,32	1,32	738,76	0,55
B-04	Silanos Dest.	Rehervidor	Tk. Almacen.	1	34,56	0,016	2,160	0,02	0,38	0,38	40,56	0,03
B-05	Condensado	T. Destilación	Caldera	15	240	1	0,240	0,01	16,91	16,91	12276,81	9,15
B-06	Silanos	Condensador	Flash	5	159,8	1,06	0,151	0,01	7,11	7,11	3437,95	2,56
B-07	Aceite	Circuito aceite		5	103,65	0,83	0,125	0,00	7,82	7,82	2450,09	1,83
B-08	Despacho DDS	Tk. DDS	Camión	3	200	0,016	12,500	0,05	0,47	0,47	18,78	0,01
B-09	Despacho Silanos	Tk. Silanos	Camión	3	100	1,06	0,094	0,01	0,95	0,95	4,50	0,003

8.3.2 Descripción de las bombas seleccionadas

En las siguientes tablas se muestran las principales características de las bombas seleccionadas empleando los catálogos de fabricantes y los cálculos realizados anteriormente.

Tabla 44: Características de las bombas adoptadas. Elaboración propia.

Código de equipo	B-01	B-02	B-03	B-04	B-05	B-06	B-07	B-08	B-09
Caudal min- máx. (m ³ /h)	15	6	6	6	6	6	6	6	6
Potencia adoptada (HP)	20	1	1	1	10	3	1	1	1
Consumo del motor de la bomba (kW)	15	0.75	0.75	0.75	7.5	2.2	0.75	0.75	0.75
NPSH máximo (m).	6	6	6	6	200	6	6	6	6
Modelo	CMX-32/200A	CMX-32/125B	CMX-32/125B	CMX-32/125B	3700 API 610 OH2	CMX-32/160B	CMX-32/125B	CMX-32/125B	CMX-32/125B
Fabricante	AGP	AGP	AGP	AGP	Bombas Gould S.A	AGP	AGP	AGP	AGP



8.4 Cálculo de la capacidad y cantidad de tanques requeridos

La capacidad de almacenamiento requerida se calcula teniendo en cuenta la siguiente expresión:

$$V_L = \frac{F_{MA} \cdot t_{RM}}{\delta_A}$$

Dónde:

- V_L es la capacidad requerida de almacenamiento (m^3)
- F_{MA} es el flujo másico de alimentación al proceso (kg/h)
- t_{RM} es el tiempo de residencia máximo (h)
- δ_A es la densidad de la alimentación (kg/ m^3)

El cálculo de la cantidad de tanques necesarios se realiza teniendo en cuenta las siguientes expresiones:

$$V_{RT} = \frac{V_L}{1 - F_S}$$
$$n_T = \frac{V_{RT}}{V_{TA}}$$

Dónde:

- V_{RT} es el volumen requerido de tanques (m^3)
- F_S es el factor de seguridad, debido a que los tanques nunca se llenan por completo. Se considera el mismo en un valor de 10%.
- V_{TA} es el volumen de un tanque a adoptar (m^3)
- n_T es el número de tanques requeridos.

Teniendo en cuenta estas expresiones, se calculan los diferentes tanques necesarios.

8.4.1 Tanque de almacenamiento de DDS (TKP-14)

Teniendo en cuenta que, por sus características el compuesto (DDS) es corrosivo para metales, se adoptan tanques de la firma ROTOR. Estos tanques son fabricados en polietileno de alta densidad (PEAD / HDPE), los cuales son óptimos para la contención de los químicos utilizados en la planta.



Se dimensiona el tanque a adoptar teniendo en cuenta su tiempo de residencia, el caudal volumétrico de alimentación y las capacidades máximas de los tanques disponibles en el mercado.

- Caudal másico máximo de la corriente: 2478 kg/día.
- Densidad de la corriente: 1060 kg/m³.
- Tiempo de residencia máximo: 2 días.

8.4.1.1 Características del tanque adoptado

Se emplea MathCAD 15 para realizar los cálculos correspondientes y los resultados son los siguientes:

Tabla 45: Dimensiones calculadas para tanque de almacenamiento del DDS. Fuente: elaboración propia

Capacidad requerida	4.67 m ³
Volumen de tanque requerido	5.2 m ³
Volumen de tanque adoptado	5.5 m ³

En la siguiente tabla se muestran las características del tanque adoptado:

Tabla 46: Características del tanque de almacenamiento TKP-14. Fuente: elaboración propia.

Fabricante	ROTOR
Tipo de tanque	Vertical simple pared reforzado
Material	Polietileno de alta densidad
Capacidad máxima	5.5 m ³
Cantidad de tanques requeridos	2
Diámetro externo	2,25 m
Altura	1.65 m
Esbeltez (r/h)	0.68
Espesor de pared	4.76 mm
Diámetro boca de hombre	60 cm



8.4.2 Tanque de almacenamiento mezcla de silanos (TKS-13)

Al igual que el DDS, la mezcla de silanos es corrosiva para metales, se adoptan tanques de la firma ROTOR.

Se dimensiona el tanque a adoptar teniendo en cuenta su tiempo de residencia, el caudal volumétrico de alimentación y las capacidades máximas de los tanques disponibles en el mercado:

- Caudal másico máximo de la corriente: 770 kg/día.
- Densidad de la corriente: 1060 kg/m³.
- Tiempo de residencia máximo: 8 días.

8.4.2.1 Características del tanque adoptado

Se emplea MathCAD 15 para realizar los cálculos correspondientes y los resultados son los siguientes:

Tabla 47: Dimensiones calculadas para tanque de almacenamiento de mezcla de silanos. Fuente: elaboración propia

Capacidad requerida	5.81 m ³
Volumen de tanque requerido	6.45 m ³
Volumen de tanque adoptado	7 m ³

En la siguiente tabla se muestran las características del tanque adoptado:



Tabla 48: Características del tanque de almacenamiento TKS-13. Fuente: elaboración propia.

Fabricante	ROTOR
Tipo de tanque	Vertical simple pared reforzado
Material	Polietileno de alta densidad
Capacidad máxima	7 m ³
Cantidad de tanques requeridos	2
Díámetro externo	2,25 m
Altura	2.05 m
Esbeltez	0.55
Espesor de pared	4.76 mm
Díámetro boca de hombre	60 cm

Fuente: Elaboración propia

8.5 Tanque de almacenamiento de mezcla de residuos de silanos (TKR-15)

Al igual que el tanque calculado anteriormente, se adoptan tanques de la firma ROTOR.

Se dimensiona el tanque a adoptar teniendo en cuenta su tiempo de residencia, el caudal volumétrico de alimentación y las capacidades máximas de los tanques disponibles en el mercado.

- Caudal másico máximo de la corriente: 588 kg/día.
- Densidad de la corriente: 860 kg/m³.
- Tiempo de residencia máximo: 4 días.

8.5.1 Características del tanque adoptado

Se emplea MathCAD 15 para realizar los cálculos correspondientes y los resultados son los siguientes:



Tabla 49: Dimensiones calculadas para tanque de almacenamiento de los residuos de silanos. Fuente: elaboración propia

Capacidad requerida	2.73 m ³
Volumen de tanque requerido	3.03 m ³
Volumen de tanque adoptado	3.3 m ³

En la siguiente tabla se muestran las características del tanque adoptado:

Tabla 50: Características del tanque de almacenamiento TKR-15. Fuente: elaboración propia.

Fabricante	ROTOR
Tipo de tanque	Vertical simple pared reforzado
Material	Polietileno de alta densidad
Capacidad máxima	3.3 m ³
Cantidad de tanques requeridos	1
Diámetro externo	2.25 m
Altura	1.1 m
Esbeltez	1.02
Espesor de pared	4.76 mm
Diámetro boca de hombre	60 cm

8.6 Cilindros de almacenamiento de Cloruro de Metilo.

El cloruro de metilo por su característica de ser gaseoso se comercializa en cilindros a presión de diferentes capacidades, la firma proveedora de estos cilindros es Inflex, estos cilindros fabricados en acero de calidad especial de pared gruesa y sin uniones soldadas, tratados térmicamente para optimizar sus propiedades de resistencia y elasticidad. El cilindro utilizado en la planta productiva se calcula de igual manera que los tanques y luego se adopta el que se encuentre en el mercado.

Se dimensiona el cilindro a adoptar teniendo en cuenta su tiempo de residencia, el caudal volumétrico de alimentación y las capacidades máximas de los tanques disponibles en el mercado.

- Caudal másico máximo de requerido: 2200 kg/día.
- Densidad de la corriente: 1330 kg/m³.



- Tiempo de residencia máximo: 16 días

8.6.1 Características del tanque adoptado

Se emplea MathCAD 15 para realizar los cálculos correspondientes y los resultados son los siguientes:

Tabla 51: Dimensiones calculadas para tanque de almacenamiento cloruro de metilo.

Fuente: elaboración propia

Capacidad requerida	26.47 m ³
Volumen de tanque requerido	29.4 m ³
Volumen de tanque adoptado	8 m ³

En la siguiente tabla se muestran las características del tanque adoptado:

Tabla 52: Características del cilindro. Fuente: Elaboración propia

Fabricante	Inflex
Material	Acero al manganeso, tipo 3A
Capacidad máxima	8 m ³
Cantidad de tanques requeridos	4
Diámetro externo	23.2 cm
Altura	1.16 m
Espesor de pared	8.8 mm



CAPÍTULO 9

SERVICIOS AUXILIARES

9.1 Introducción

El área de los servicios auxiliares es imprescindible para mantener la operación en óptimo funcionamiento. Persigue objetivos operacionales, económicos y hasta ecológicos.

Para desarrollar este capítulo nos vamos a basar en los datos arrojados por los balances de masa y energía que corresponden al capítulo número seis.

Los servicios auxiliares que serán tenidos en cuenta a continuación son los siguientes:

- Agua de enfriamiento
- Agua corriente y de proceso
- Vapor para calentamiento
- Gas natural como combustible
- Sistema de calentamiento por aceite térmico.

9.2 Agua de enfriamiento

Según el proceso desarrollado se concluye que es necesaria la utilización de agua de enfriamiento en el reactor (R-01), en el condensador y en el condensador que corresponde a la torre de destilación.

Tabla 53: Volumen de agua de enfriamiento requerida en el proceso. Fuente: Elaboración propia

Agua de enfriamiento requerida			
Equipo	T entrada (°C)	T salida (°C)	Caudal
Reactor	18	32	5.61 m ³ /h
Condensador	18	32	0.58 m ³ /h
Condensador (Torre)	18	32	7.74 m ³ /h
Total			13.93 m³/h



9.3 Adopción de torre de enfriamiento

Las torres de enfriamiento serán provistas por la empresa FAVRA S.A. Se adopta el modelo F-190 debido a que son transportables, son de fácil instalación, libres de corrosión, bajo peso, mínimo mantenimiento, pero sobre todo porque poseen un sistema de interconexión de torres que permite colocar varias torres en serie con el fin de hacer frente a la variabilidad de las condiciones climáticas, tales como la temperatura o el porcentaje de humedad contenido en el aire.

Se utilizan dos torres con capacidad para 10230 l/h

A continuación, se muestra la torre a adoptar, las características y dimensiones de esta.

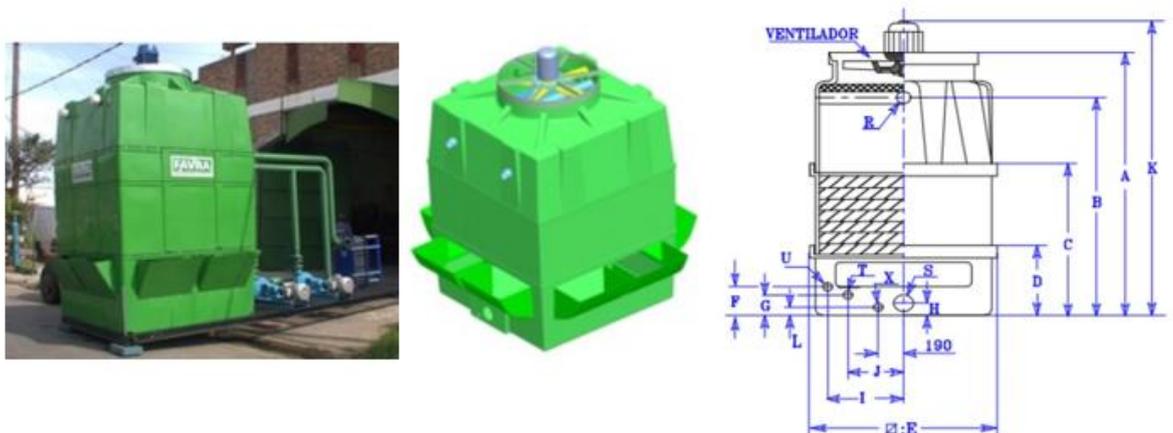


Figura 12: Torre de enfriamiento a adoptar para el proceso.

Tabla 54: Características y dimensiones de diseño la torre a adoptar. Fuente: FAVRA S.A

DIMENSIONES (mm)											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2010	1800	1400	500	880/1200	300	213	80	355	295	2230	60

CONEXIONES(Pulg)				
R	S	T	U	X
1 1/2	2 1/2	1	1-feb	1

CAUDAL (l/h)	PESO (kg)	
	VACIO	OPER
10203	106	226

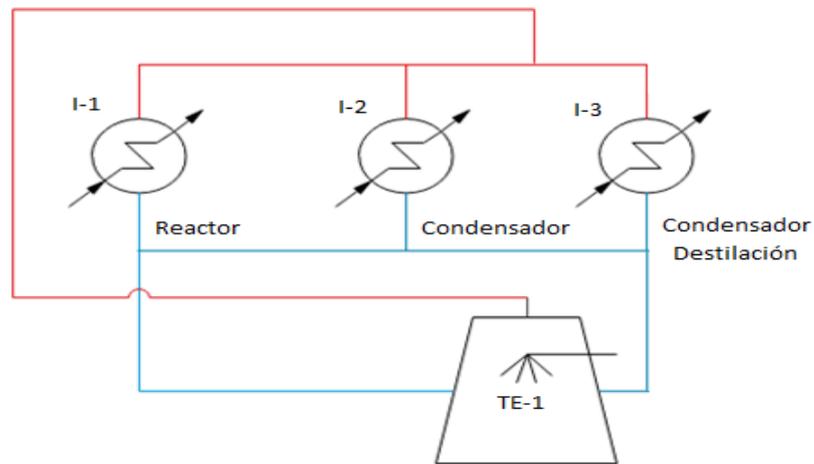


Figura 13: Diagrama de abastecimiento de agua. Ref.: Rojo: agua caliente. Azul: agua fría. Fuente: Elaboración propia

9.4 Agua corriente y de proceso

El parque industrial de Villa María cuenta con un servicio de agua corriente el cual es empleado en propósitos de uso general tales como baños, cocina o en el edificio administrativo. El agua empleada en el proceso se obtiene de una perforación subterránea y es almacenada en un tanque con una capacidad suficiente para asegurar el suministro durante un día completo.

El consumo total de este recurso dentro de la planta está determinado por:

- Agua para cubrir las pérdidas de la torre de enfriamiento.
- Agua de usos generales.



Tabla 55: Consumos de agua. Fuente: Elaboración propia

Consumo de agua		
Usos	Caudal (m³/h)	Caudal(m³/día(14hs))
Agua para cubrir las pérdidas en la torre de enfriamiento	0.13	1.82
Agua para usos generales	0.08	0.12
Total	0.21	1.94

El agua utilizada para cubrir las pérdidas en la torre de enfriamiento se calculó como el 1% del agua total que utiliza el proceso para refrigerar mientras que el agua para usos generales se calculó en función de la cantidad de empleados.

9.5 Tanque de almacenamiento para pérdidas en torres de enfriamiento

El agua de enfriamiento se obtiene de una perforación subterránea y se considera que está a 18 °C. El tanque adoptado (TK-16) es provisto por la empresa “Duraplast”. Se adoptará el modelo S2000, este tanque tiene una capacidad de **2.000 litros** para almacenamiento de agua con válvula de 2". Está fabricado de polietileno virgen con protección U.V, posee una tapa de inspección de 45cm de diámetro y sus dimensiones son: 130cm de diámetro por 173 cm de altura.



Figura 14: Tanque adoptado para almacenamiento de agua para pérdidas de la torre de proceso (TK-16). Fuente: www.Duraplast.com.ar.



9.6 Tanque de agua para usos generales

El agua potable se obtiene de la red perteneciente al parque industrial. Se adopta un tanque (TK-17) acorde con el volumen antes calculado de 0.12 m³/día.

Se adopta un tanque flat multi capa de la empresa “Rotoplas”, especialmente diseñado para contener agua potable.



Figura 15: Tanque adoptado para el almacenamiento de agua para usos múltiples (TK-17). Fuente: www.rotoplas.com.ar

Tabla 56: Dimensiones especificadas por el proveedor. Fuente: Rotoplast S.A

Volumen nominal (l)	Volumen máximo (l)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Conexiones de salida	Diámetro de boca (cm)	Válvula y flotante
500	534	77	116.5	1 ½"	46	¾"

9.7 Vapor para calentamiento

9.7.1 Vapor

El vapor para la columna de destilación está a 1,5 kg/cm² de y temperatura es de 110°C el λ de vaporización es de 539,4 cal/g donde el calor a entregar en el reboiler es 134061 kcal/h sabiendo estos datos se procede al cálculo de vapor necesario y luego a la adopción de la caldera adecuada.



$$\frac{134061 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * 1000 \frac{\text{cal}}{\text{kcal}}}{539,4 \frac{\text{cal}}{\text{g}}} = 248537,26 \frac{\text{g}}{\text{h}} * \frac{\text{tn}}{10000000\text{g}} = 0,2485 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

9.7.2 Adopción de la caldera de vapor

Según los datos de cantidad de vapor que se presentaron anteriormente se procede adoptar la caldera, se opta por una caldera de la marca Fontanet diseñadas para quemar combustibles líquidos pesados o livianos y/o gaseosos. Hogar dimensionado para una combustión completa con baja carga térmica. Su ubicación central, muy por debajo de los tubos superiores, garantiza una mejor circulación del agua en el interior, con respecto a las calderas de hogar lateral elevado.

Cuenta con un margen de seguridad generoso entre el hogar y el nivel de agua, que pudiera ser crítico en una condición de bajo nivel en las del hogar lateral, permite una operación más segura. Fondo húmedo con cámara de retorno de gases totalmente refrigerada sin parte refractaria. Bocas de inspección y limpieza, puertas delanteras giratorias y posteriores desarmables, dejan accesible todas las superficies en contacto con agua, vapor y gases de combustión. Construcción tipo paquete, con todos los equipos auxiliares incorporados, sistema que permite un rápido montaje y puesta en marcha luego de realizar las conexiones de agua, combustible, vapor y electricidad.

Sus características se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 57: Características de la caldera

Modelo:	Caldera E
Tipo:	Humotubular de dos pasos
Combustibles:	Sólidos, Líquidos y/o Gaseosos
Capacidad térmica:	Desde: 9 BHP (77.800 kcal/h) Hasta: 537 BHP (4.536.000 kcal/h)
Construcción:	Tipo paquete (equipos auxiliares incorporados)
Materiales de construcción:	Según códigos europeos y americanos



Se muestra en la imagen la referencia de las dimensiones que luego se especifica para el modelo elegido.

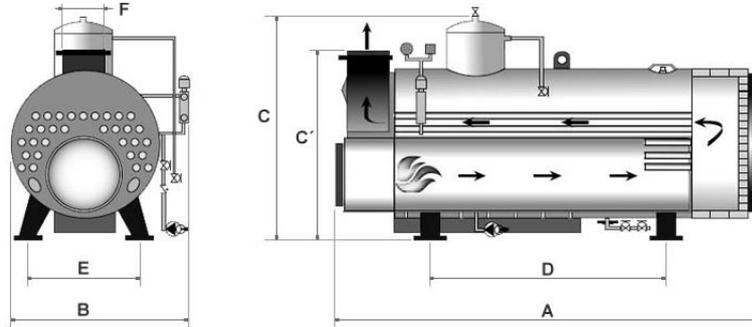


Figura 16: Caldera Humotubular a adoptar.

Tabla 58: Dimensiones de la caldera

Modelo	Producción vapor	Capacidad térmica	Capacidad térmica	A	B	C	C'	D	E	F
E	(Kg/h)	(BHP)	(Kcal/h x 1000)	Largo total (mm)	Ancho total (mm)	Alto total c/domo (mm)	Alto total s/domo (mm)	Distancia entre patas (mm)	Distancia entre patas (mm)	Diámetro chimenea (mm)
15	360	23	194.4	2700	1750	2000	1700	1490	1000	300

9.7.3 Dimensiones de tuberías de distribución de vapor

Para dimensionar el diámetro de una tubería de vapor saturado y retorno de condensado se tiene en cuenta la velocidad y presión por la que circulan en la línea de distribución.

- El diámetro de las tuberías se ve ligado a la velocidad del vapor, puesto que, con una mayor velocidad del vapor en la línea de distribución, aumenta la erosión y el ruido en las tuberías. Por lo tanto, la velocidad recomendada para una adecuada y correcta distribución de vapor dentro de las líneas es de 25 a 35 m/s

- Para el retorno de condensado la velocidad de diseño depende de la existencia de vapor en la línea. Si es solo líquido condensado generalmente la velocidad es de 1 a 1,5 m/s pero si es flujo de dos fases, las líneas deben ser dimensionadas en base al flujo de vapor. Para el flujo de dos fases la velocidad de diseño aproximadamente es 15 m/s.



El cálculo del diámetro de la tubería corresponde a la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Mv * Ve}{v * \pi}}$$

Dónde:

- D: Diámetro de la tubería (m)
- Mv: Masa de vapor (kg/h)
- Ve: Volumen específico del vapor (m³/kg) que es función de (P y T)
- V: Velocidad del vapor (m/h)

9.7.4 Pérdida de calor en la red

A lo largo de toda la superficie externa de una tubería que transporta vapor existe una pérdida de calor hacia el ambiente por convección y radiación, provocando que parte de este se condense, reduciendo su presión y temperatura, lo cual ocasiona una disminución de la calidad del vapor. Por ello es que a las tuberías de distribución se le coloca un aislante térmico, de esta forma se minimiza el desperdicio de energía. En tuberías en las que pasa vapor a presiones iguales o menores a 10 atm se ha determinado empíricamente que:

- Para tuberías menores a 2 plg de diámetro se tendrá 1 plg de espesor de aislante.
- Para tuberías mayores a 2 plg de diámetro se tendrá 2 plg de espesor de aislante.

9.7.5 Retorno de condensados

Las tuberías de retorno son aquellas que reciben el condensado de los equipos de transferencia de energía y de varias tuberías de descarga de trampas de vapor, y lo llevan de regreso al tanque de condensado para aprovechar tanto su temperatura como el tratamiento que ya le fue dado. En plantas pequeñas puede haber una sola línea de retorno de condensado. Una instalación típica como se muestra en la figura 9.5, consiste en un tanque de recolección de condensados al cual se le agrega el agua de reposición tratada para luego ser bombeados a la caldera y generar vapor nuevamente. Otro punto para considerar es que la línea de retorno de condensado este por debajo del nivel del equipo de transferencia de calor de manera que la descarga de condensado de la trampa de vapor



pueda fluir por gravedad a la línea de retorno de condensado, además debe tener una ligera pendiente la cañería para favorecer el flujo por gravedad.

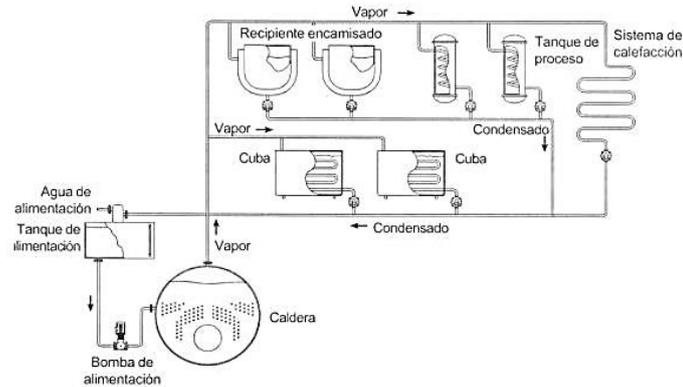


Figura 17: Circuito típico de condensados

9.7.6 Sistema de distribución

Para la distribución del vapor se cuenta con una caldera y el vapor es transportado a la torre de destilación.

Para tales efectos se calcula el diámetro de las diferentes conexiones teniendo en cuenta la masa de vapor que va a ser transportada.

Tabla 59: Masa de vapor necesaria. Fuente: elaboración propia en base a cálculos.

	Línea de vapor	Línea de condensado
Masa (kg/h)	250	240
Volumen específico (m ³ /kg)	1.67	0.001
Velocidad (m/s)	30	15
Tipo de tubo	Acero al carbono - Schedule 80	
Aislante	Lana mineral	



Para la línea de vapor se calculan los diámetros de cada cañería necesaria para la distribución.

Tabla 60: Diámetros para tuberías de distribución de vapor. Fuente: elaboración propia.

Tuberías de vapor	
Diámetro calculado (mm)	70.15
Diámetro Nominal (mm)	80
Diámetro interno (mm)	73.3
Espesor del aislante (mm)	1

Luego para la línea de condesado, al ser agua líquida a la presión de 1 atm se adopta un diámetro de 1 pulg para todas las cañerías de retorno a la caldera y una aislación de 1 pulg de lana de vidrio.

9.7.7 Trampas de vapor

Normalmente parte del vapor transportado en una línea de distribución condensa y se acumula en el fondo de la tubería. Cuando el área transversal de una sección de tubería está completamente llena de agua se generan olas de condensado a gran velocidad produciendo el golpe de ariete el cual puede causar daño humano, así como al equipo, tubería y válvulas. Por lo tanto, se debe tener en cuenta la ubicación y diseño de las instalaciones de trampeo.

Se colocan trampas de vapor en los siguientes casos:

- Cada 30-50 metros de cañería recta.
- Antes de una válvula de control o reductora de presión
- Antes de válvulas manuales que permanecen cerradas por largos periodos de tiempo.
- En la parte inferior de subidas o bajadas verticales

9.7.8 Sistema de bombeo de la caldera

El sistema de bombeo de una caldera en circuito cerrado está compuesto por una bomba encargada de alimentar a la caldera. La reposición de agua al tanque de condensados se realiza mediante otra bomba, previo al ingreso se realiza un tratamiento fisicoquímico para eliminar su dureza. La bomba para el retorno del condensado tiene las



siguientes características. En el Capítulo 7 Diseño y Adopción, se detallan los cálculos y se describen las bombas adoptadas.

9.7.9 Ablandador automático de agua Twin

Un ablandador Twin permite acondicionar el agua destinada a sistemas en los cuales la dureza (sales de calcio y magnesio) genera depósitos minerales no deseados en lugares sensibles como calderas. Esas incrustaciones reducen el proceso de intercambio de calor generando un mayor consumo de energía y acortando la vida útil de las instalaciones.

El agua de red con alto contenido de sales de calcio y magnesio pasa a través de una resina polimérica en la cual se produce un intercambio iónico sobre la superficie, cuando la resina está saturada, es decir, cuando todos los iones sodio son intercambiados por los iones calcio y magnesio presentes en el agua de alimentación, debe ser regenerada a través del pasaje de una mezcla formada por cloruro de sodio y agua, comúnmente denominada "salmuera". El equipo realiza de manera autónoma las operaciones de regeneración de la resina.



Figura 18: Equipo Twin ablandador de agua. Fuente: Aquatherm S.A

Como se observa en la figura 9-6, el equipo está compuesto por un único cabezal automático programable de control, dos columnas de intercambio iónico y un tanque de



regeneración en el cual se agrega NaCl para regenerar la resina. Al tener el sistema dos columnas permiten la provisión de agua tratada de forma continua, es decir mientras una brinda agua ablandada, la otra se regenera.

Tabla 61: Especificaciones técnicas del equipo Twin. Fuente: elaboración propia.

Ablandador de agua	
Fabricante	Aquatherm S.A.
Modelo	TWIN 12 doble
Caudal de trabajo (m ³ /h)	3,9
Presión de entrada (kg/m ²)	1,8 - 4
Regeneración de la resina	Automática
Volumen de resina (litros)	100
Tipo de resina	Catiónica

9.8 Gas

El parque industrial de Villa María cuenta con una red de media y alta presión de gas natural. Esta red provee de gas a los equipos caldera y calentador de aceite, además del laboratorio, cocina, baños y en las oficinas para calefacción.

Para calcular el gas natural en la caldera se utiliza la siguiente ecuación:

$$Cg = \frac{E}{\eta * Pg}$$

Siendo:

- Cg: Caudal de gas natural (m³/h)
- Pg: Poder calorífico del gas natural: 9300 kcal/m³
- η: Rendimiento de la combustión: 87%
- E: Energía necesaria en la caldera: 200000 kcal.



Tabla 62: Consumo de gas total. Fuente: elaboración propia

Consumo de gas	
Destino	Consumo (m³/h)
Caldera	24.71
Calentador de aceite	1.44
laboratorio	0.2
Cocina	0.32
Baños	0.86
Calefacción	0.48
Total	29

La cañería principal de distribución de gas natural a toda la planta es de acero galvanizado, con un diámetro de 4 pulgadas, la misma alimenta a la caldera y el reactor-horno, mientras que las de distribución a las instalaciones baño, comedor, calefacción y vestuario son de ½ pulgadas de diámetro y de polietileno unido por termofusión.

9.9 Sistema de calentamiento con fluido térmico

En el capítulo anterior se mencionó que el calor necesario para que se produzca la reacción en el Reactor R-207 es aportado por una caldera el cual hace circular un fluido térmico en un circuito cerrado. En dicho circuito el fluido térmico (aceite térmico) pasa a través del reactor por la coraza aportándole el calor necesario para que ocurra la reacción dentro de los reactivos que circulan dentro de los tubos.

Para realizar la adopción de la caldera que realiza el calentamiento de dicho fluido térmico se selecciona un fabricante, en este caso Calderas Powermaster®, y teniendo en cuenta la cantidad de calor necesario aportar al reactor se selecciona el modelo a adoptar. A continuación, se explica la composición del sistema mencionado y los fluidos que se emplean en el mismo.

9.9.1 Diseño del sistema de calentamiento

Un sistema de calentamiento, por medio de un circuito cerrado de aceite térmico, requiere de un control de operación estricto y una selección de materiales completamente técnico profesional. Sus componentes interactúan entre sí, por lo que la falla de alguno perjudica al sistema completo.



El circuito cerrado se compone de:

- Calentador de aceite térmico.
- Bomba para recircular el aceite térmico.
- Control de flujo de aceite térmico.
- Tanque de expansión de aceite térmico.
- Aceite térmico.
- Usuario final o consumidor de energía final.

9.9.2 Tipos de aceites o líquidos térmicos

Existen en el mercado una serie de diferentes marcas de líquidos térmicos. Los líquidos térmicos fueron introducidos en el mercado en los años 1930. La composición de los líquidos térmicos está basada en mezclas eutécticas, óxidos de diphenyl, diphenyles, etc.

Los líquidos térmicos (aceites) tienen puntos de ebullición altos, y algunos de ellos, puntos de congelamiento a temperaturas relativamente altas. Sus usos prácticos se encuentran en la fase líquida en los rangos de 200°C hasta 300°C (algunos de ellos hasta 400°C).

A continuación, se detallan los líquidos térmicos más comúnmente usados en la industria:

Tabla 63: Tipos de aceites térmicos

MARCA	Rangos de temperatura recomendados por el fabricante de líquido térmico	
	°F	°C
Therminol 55°	hasta 600	315
Therminol 66	hasta 630	332
Therminol VP1	hasta 725	385
Dowtherm A	hasta 755	401
Dowtherm G-40	hasta 655	346
Dowtherm E	hasta 862	461
Mobiltherm 603	hasta 555	290
Marlotherm S	hasta 625	329



Los aceites térmicos tienen una vida útil (aprox. 3 a 5 años). Se van degradando con el tiempo y uso. Cuando se degradan, pierden sus características originales, se carbonizan y se incrustan dentro de los tubos, poniendo en peligro la vida útil del calentador de aceite. Es recomendable llevar a cabo un estricto control sobre la calidad de estos, sacando muestras del aceite en circulación constante (no del tanque de expansión) y mandándolas analizar semestralmente con el proveedor de este, para que nos indique el grado de pureza del mismo. Con este control semestral del aceite térmico, se podrá percatar de la necesidad del cambio necesario de aceite térmico.

Normalmente, los fluidos que soportan una mayor temperatura son también los que tienen una mayor vida útil en condiciones normales, uno de ellos que se distingue por una vida útil larga es el Therminol 66 de Monsanto

9.9.3 Calentador de aceite térmico

Este equipo es el encargado de calentar el aceite térmico que va a calefaccionar el CH_3Cl en el equipo (CA-07).

Se adopta un calentador de la marca "Thermofluid" modelo TF- 70 provisto por la empresa "TecnicaCDC". El fluido térmico en cuestión se trata de m-terfenilo provisto por la empresa "Estman". A continuación, se muestra un esquema del circuito de calentamiento.

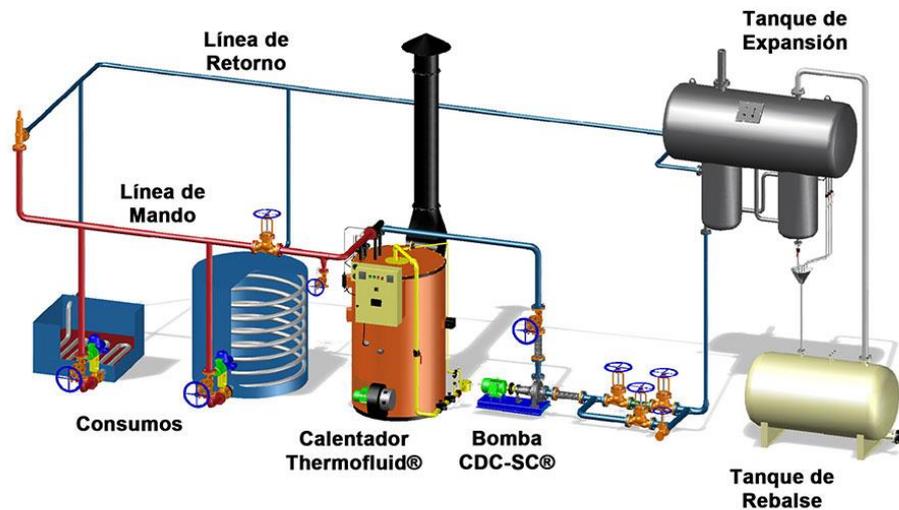


Figura 19: Diagrama del circuito de calentamiento por fluido térmico. Fuente: técnica CDC



Figura 20: Equipo calentador (CA-07) para CH₃Cl adoptado.

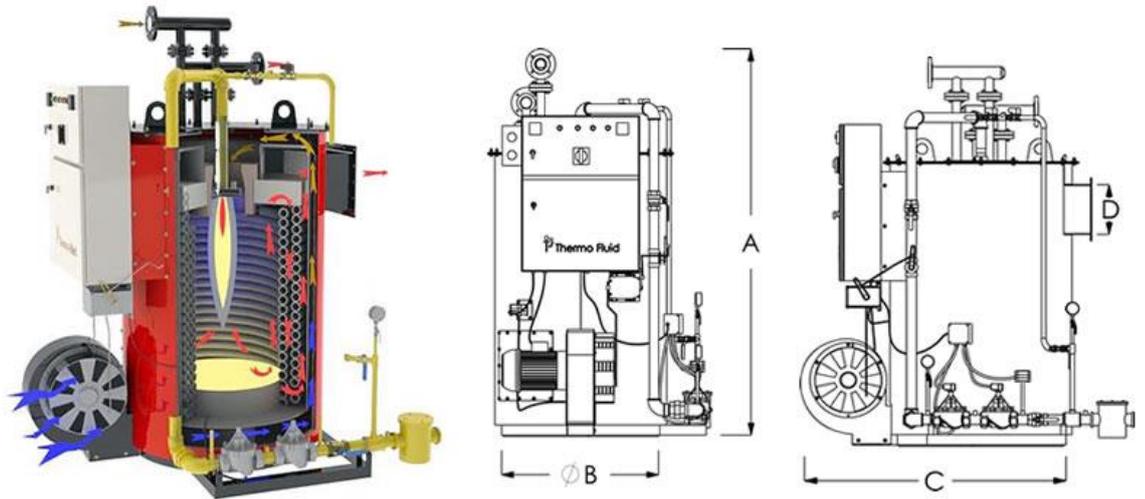


Figura 21: Esquema de las especificaciones técnicas del equipo calentador. Fuente: Técnica CDC

Tabla 64: Especificaciones técnicas provistas por el proveedor.

Modelo Calentadores Thermofluid®	Capacidad Calorica Neta 1000 kcal/h	Contenido de Aceite	Consumo de Gasoil lts/ h	Consumo de Gas Natural m3/ h	Alimentación de Gasoil Ø mm	Alimentación de Gas Natural Ø mm
TF-70	70	11	8	8	13	25

Modelo Calentadores Thermofluid®	Capacidad Calorica Neta 1000 kcal/h	A mm.	ØB mm.	C mm.	D mm.	Peso kg.
TF-70	70	1120	465	600	250 x 100	220



CAPÍTULO 10

CONTROL DE CALIDAD

10.1 Introducción

El control de calidad se puede definir como "las técnicas y actividades prácticas que se utilizan para satisfacer los requisitos relativos a la calidad" (Manuales para el Control de Calidad de los Alimentos. 14: La Garantía de la Calidad en el Laboratorio Químico de Control de los Alimentos. Estudio FAO: Alimentación y Nutrición - 14/14).

Esto implica el control de las variables de proceso en las diferentes etapas de producción, el control del producto final para determinar que se cumpla con las especificaciones técnicas, y de la materia prima para su fabricación.

Un sistema de gestión de Calidad basado en la norma UNE ISO 9000:2008 demuestra a los clientes y al mercado que una organización desarrolla su actividad con el objetivo de garantizar la satisfacción del cliente, basándose en la aplicación del ciclo de mejora continua y la gestión de procesos.

10.2 Control de calidad de materias primas

Silicio

Compuesto principal para la reacción, se recibe en planta un producto sólido el cual se almacena en silos para posteriormente ser transportado al reactor. El parámetro para controlar es la densidad.

Cloruro de Metilo

También forma parte de la reacción, se obtendrá en cilindros por lo que se controla que cumpla con los valores establecidos por el proveedor. En la siguiente tabla se muestran los parámetros a determinar por el analista de laboratorio y su respectivo registro.



Tabla 65: Especificaciones de materia prima

Control de Calidad: Especificación Materia Prima- Emitió: Dpto. Calidad									
Punto Crítico	Punto de Control	Variable	Unidad	Especificación	Método/Norma	Frecuencia	Registro	Responsable	Acción correctiva/Preventiva
Cloruro de Metilo	Previo a la descarga	Pureza (GC- p/p)	%	Mín. 99,5	IO-GC-X-003	Cada 30 días	REG-CAL-01	Analista de Laboratorio	Rechazo de Lote
		Densidad (20-25°C)	g/cm3	1,351 - 1,354	ASTM D-891/D-4052	Cada 30 días	REG-CAL-01	Analista de Laboratorio	Rechazo de Lote
		Color	Pt/Co	Máx. 10	IO-GC-X-007 (ASTM-1209)	Cada 30 días	REG-CAL-01	Analista de Laboratorio	Rechazo de Lote
		Olor	Apreciación	Característico	IO-GC-X-005 (ASTM-1209)	Cada 30 días	REG-CAL-01	Analista de Laboratorio	Rechazo de Lote
		Humedad (KF - p/p)	%	Máx. 0,01	IO-GC-X-006 (ASTM-1364)	Cada 30 días	REG-CAL-01	Analista de Laboratorio	Rechazo de Lote
		Acidez (p/p - c/CH3COOH)	%	No evidencia	IO-GC-X-001 (ASTM-1613)	Cada 30 días	REG-CAL-01	Analista de Laboratorio	Rechazo de Lote
		Aspecto	Visual	Líquido límpido Transparente	ASTM D-4670	Cada 30 días	REG-CAL-01	Analista de Laboratorio	Rechazo de Lote

Tabla 66: Registro R-001: Control de calidad del Cloruro de Metilo

Control de Calidad: R-001 Recepción de Cloruro de Metilo										
Fecha	Lote	Pureza (GC)	Densidad 20°C	Color	Olor	Humedad	Acidez	Aspecto	Acepta/Rechaza	Responsable

10.3 Control de calidad durante el proceso productivo

Se implementa un plan de control de calidad el cual se aplica a todo el proceso productivo, ya que existen variables claves para que se den correctamente todas las operaciones. Lo que permite estandarizar el producto final como así también la productividad.

El control se lleva a cabo en los puntos que se detallan a continuación, a lo que se agrega control automático integrado para monitoreo continuo en etapas claves del proceso, lo que va a permitir en caso de ser necesario interrumpir y/o corregir el mismo si ciertas variables se desvían de los parámetros establecidos, como así también aumentar la seguridad del proceso.



10.3.1 Reacción

Durante esta etapa, el operario del reactor se encarga de controlar periódicamente las siguientes variables de esta operación:

- Registro de horario de inicio de cada etapa: carga del reactor, calentamiento, reacción, enfriamiento y descarga.
- Ingreso corriente de Cloruro de Metilo: Caudalímetro, monitoreo continuo.
- Temperatura de reacción: $300^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Sensor de temperatura: termocupla, monitoreo continuo.
- Presión de la reacción: 5 atm. Sensor de presión: manómetro, monitoreo continuo.
- Caudal de agua de enfriamiento. Caudalímetro en línea, monitoreo continuo.
- Corriente de salida del reactor: gaseosa, se controla que el producto cumpla con la especificación técnica a la salida del condensador. Se tomará muestra cada 4 horas para análisis de concentración en laboratorio.

10.3.2 Control en el condensador

El operario controla periódicamente los parámetros que indican el funcionamiento del intercambiador de calor.

Los equipos cuentan con sensores de temperatura y de presión.

Las variables se controlan y se registran cada 1 h, las mismas son:

- Temperatura de entrada y salida de la corriente de enfriamiento. Sensor de temperatura: termocupla, monitoreo continuo
- Temperatura de entrada y salida del producto: Sensor de temperatura: termocupla, monitoreo continuo
- Corriente de salida: Caudalímetro, monitoreo continuo.

Durante esta etapa es necesario realizar en forma periódica la determinación de la concentración de la solución de silanos a la salida del condensador para detectar cualquier variación respecto al valor requerido, y poder ajustar las variables de proceso.

El producto obtenido del condensador se dispone en un tanque de producción diaria, el cual es muestreado y analizada su concentración antes de enviarlo al tanque que alimenta



la destilación. En el caso de encontrar una no conformidad en el tanque diario el producto obtenido se destina a un tanque aparte para disposición final.

La concentración se determina mediante muestreo y análisis en laboratorio.

En principio el análisis se realiza cada hora, pero este tiempo se podrá modificar según sea necesario.

10.3.3 Control durante la destilación

En esta etapa el operario se encarga de controlar las siguientes variables:

- Caudal de alimentación a la columna de destilación: Caudalímetro, monitoreo continuo.
- Presión de bomba de recirculación y envío a despacho
- Temperaturas de los platos de la columna

Los equipos cuentan con sensores de temperatura y de presión.

Las variables anteriores se controlan y registran cada 1 h.

En esta etapa es necesario realizar la determinación de la concentración del producto, para detectar cualquier variación respecto al valor requerido, y poder ajustar las variables de proceso.

La concentración se determinará por muestreo y análisis en el laboratorio.

10.4 Control producto final

El departamento de control de calidad es el encargado de determinar que el producto cumpla con la especificación técnica necesaria, para ello se realizan controles de cada una de los tanques de producto, donde se acepta o no una liberación de producto cada vez que es requerido. Además, se realizan controles de rutina a los mismos, para verificar la calidad del producto almacenado.

El producto no saldrá a la venta hasta no tener los resultados de todos los parámetros que deben analizarse.

La determinación de la concentración y composición del dimetildiclorosilano se realiza por resonancia magnética nuclear (RMN) en un espectrómetro Varian Gemini de 200 MHz, y



en un cromatógrafo de gases Agilent 3000A Micro GC con detector de conductividad térmica.

El departamento de control de calidad emitirá un certificado junto con el producto detallando sus características y propiedades. En la siguiente tabla se detallan las determinaciones a realizarse en el laboratorio y su respectivo registro.

Tabla 67: Especificaciones del producto final.

Control de Calidad: Especificación Producto Final - Emitió: Dpto. Calidad									
Punto Crítico	Punto de Control	Variable	Unidad	Especificación	Método ASTM	Frecuencia	Registro	Responsable	Acción correctiva/preventiva
Dimetildiclorosilano	Tanques de Producto Final	Color		Líquido incoloro	1100	Dos veces por día	REG-CAL-02	Analista de Laboratorio	Producto no conforme
		Densidad a 25°C	g/cm ³	1.07	1100	Dos veces por día	REG-CAL-02	Analista de Laboratorio	Producto no conforme
		Punto de fusión	°C	-74	124	Dos veces por día	REG-CAL-02	Analista de Laboratorio	Producto no conforme
		Punto de Ebullición	°C	70	676	Dos veces por día	REG-CAL-02	Analista de Laboratorio	Producto no conforme
		Viscosidad	mm ² /s	0.44	1100	Dos veces por día	REG-CAL-02	Analista de Laboratorio	Producto no conforme
		Contenido de VOC	g/l	1070	1067	Dos veces por día	REG-CAL-02	Analista de Laboratorio	Producto no conforme
		Composición (CH ₃) ₂ SiCl ₂	%	> 99.5	1051	Dos veces por día	REG-CAL-02	Analista de Laboratorio	Producto no conforme
		SiH como H	%	> 1	1100	Dos veces por día	REG-CAL-02	Analista de Laboratorio	Producto no conforme

Tabla 68: Registro R-002: Control de calidad de Dimetildiclorosilano.

Control de Calidad: R-002 Producto Final											
Fecha	Lote	Color	Densidad 25°C	Punto de Fusión	Punto de Ebullición	Viscosidad	Cont. VOC	Composición GC	SiH	Acepta/Rechaza	Responsable

10.4.1 Procedimiento de control de producto no conforme

Un producto no conforme (PNC) es aquel que no cumple con los requisitos establecidos, lo que impide dar visto bueno a su conformidad. En cada una de las etapas del proceso de producción se realizan actividades de verificación y control del trabajo realizado que pueden dar como resultado la detección de productos no conformes.

Cada vez que se detecte un producto no conforme, ya sea durante el recibo de materia prima o durante los análisis de los productos finales se puede actuar de acuerdo a lo siguiente:



Notificar al responsable del proceso: la persona que identifica el producto no conforme notifica de forma verbal o escrita al jefe de producción, que junto al jefe de calidad analizarán las razones de no conformidad.

Registrar el producto no conforme: se dejará registro de la disposición del PNC en el listado de control de registros, que deberá incluir: responsable de la identificación y la fecha; área involucrada; descripción y análisis del producto no conforme; acciones a aplicar; verificación de la eficiencia.

Decidir la acción a llevar a cabo: el jefe de producción deberá decidir el tratamiento a aplicar y derivar si fuese necesario su ejecución. Las posibles acciones son rechazar el producto no conforme y corregir el producto no conforme.

10.5 Técnicas analíticas

10.5.1 Densidad Silicio

Resumen de la técnica:

Se pesan 100 ml de silicio sólido en balanza analítica utilizando un matraz aforado de 100ml

Materiales y Equipos

- Balanza analítica.
- Matraz aforado 100 ml.

Procedimiento

- Se coloca el matraz aforado en la balanza y se realiza la tara.
- Se agrega silicio hasta el aforo.

Cálculo

- Se registra el peso correspondiente a los 100ml.
- Se corrige el cálculo para expresar la densidad en g/cm^3

10.5.2 Densidad CH_3Cl - ASTM D-4052

Resumen de la técnica:

Una pequeña parte de la muestra se inyecta en una célula que se encuentra a una temperatura de 20 °C. El equipo mide la frecuencia de oscilación y calcula la densidad de la



muestra utilizando para ello las constantes de la célula determinadas previamente al medir las frecuencias de la oscilación cuando se llena la célula con fluidos de calibración de densidad conocida.

Materiales y Equipos

- Densímetro Digital, modelo DMA 4500 M, marca ANTON PAAR
- Jeringas plásticas 10 ml



Figura 22: Densímetro AntonPaar DMA 4500M

Procedimiento

- Cargar en el equipo el método de análisis CH₃Cl (a 20°C).
- Cargar la jeringa de 10 ml con muestra teniendo la precaución de no dejar burbujas en su interior.
- Ingresar la muestra hasta que toda la célula este completamente llena y sin burbujas.

Cálculo

- En la pantalla del equipo se podrá observar la densidad a 20 °C.
- Registrar el resultado correspondiente al análisis en el Registro correspondiente.

10.5.3 Humedad por Karl Fischer CH₃Cl – ASTM E-1064

Resumen de la técnica

La titulación coulométrica KF es una variante del método clásico de determinación de agua según Karl Fischer. El método usual trabaja con una solución metanólica de yodo, dióxido de sulfuro y una base como sustancia tamponada.



A continuación, se expresa la reacción que tiene lugar en una muestra que contiene agua:



Según la fórmula anterior, I_2 reacciona cuantitativamente con H_2O . Esta conexión química forma la base para la determinación de agua. Se produce, de modo electroquímico, el yodo necesario directamente en el electrolito ("bureta electrónica").

Entre la cantidad de carga eléctrica y la cantidad de yodo producido existe una rigurosa relación cuantitativa. La indicación del punto final transcurre volta métricamente, estampando en un electrodo doble de Pt una corriente alterna de intensidad constante. De este modo se forma entre los hilos Pt una diferencia de voltaje que consume drásticamente yodo libre en caso de que exista la mínima cantidad.

Este fenómeno se utiliza para la determinación del punto final de la titulación. En la siguiente figura se muestra como está formada una celda de titulación por el método de Karl Fischer.

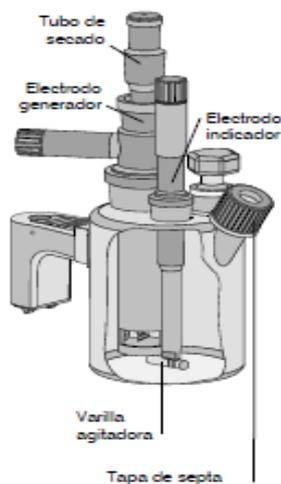


Figura 23: Celda de titulación de un Karl Fischer Coulometer 899 con agitador integrado



Materiales y Equipos

- Jeringas plásticas 3 ml y 5 ml
- Agujas metálicas (6,281-6,010)
- Vaso de precipitación 50 ml
- KF Coulometer 899 con agitador integrado.
- Electrodo generador e indicador Pt / -20 - 70 °C, marca METROHM

Reactivos y Soluciones

- Partículas de tamiz molecular 0,3 nm marca METROHM
- Solución anódica (anolito) para el vaso de titulación HYDRANAL - Coulomat AG
- Solución catódica (catolito) para el electrodo generador HYDRANAL- Coulomat CG
- Xileno

Cálculos

Cuando la determinación haya terminado, se anota la cantidad de agua valorada que se indica en la pantalla de equipo. Cuando la célula se acondicione de nuevo, se puede añadir la siguiente muestra.

El equipo coulométrico KF calcula el % de agua en la muestra de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$w \% = \frac{100 \times M2}{M1 \times 10^6}$$

Dónde:

- $w \text{ ppm} = w \% \times 10.000$
- w : Fracción másica de agua. Expresada como % de agua.



- M1: Masa de líquido inyectada con la jeringa, expresada en gramos.
- M2: Masa de agua obtenida por el valorador, expresada en microgramos.
- Registrar el resultado correspondiente al análisis en el Registro correspondiente.

10.5.4 Acidez del CH₃Cl

Expresada como %p/p de Ácido Acético – ASTM D-1613

Resumen de la técnica

Se mezclan cantidades iguales de la muestra y agua y se titula con hidróxido de sodio hasta el punto final del indicador fenolftaleína.

Materiales y Equipos

- Bureta digital 25 ml
- Erlenmeyer de 250 ml
- Cápsula de vidrio
- Probeta de 50 ml
- Balanza analítica
- Espátulas
- Estufa 150 °C

Reactivos y Soluciones

- Fenolftaleína 1%
- Hidróxido de sodio 0,05N.

Procedimiento

- Medir en una probeta 50 ml de agua destilada
- Pasar a un erlenmeyer de 250 ml y agregar solución de fenolftaleína (3 gotas).
- Agregar gotas de NaOH 0,05 N hasta cambio de color (Transparente a rosa suave).



- Con pipeta agregar 50ml de la muestra a analizar al erlenmeyer de 250 ml con agua e indicador neutralizado. (Queda solución incolora).
- Titular con NaOH 0,05N hasta viraje. (Transparente a rosa suave).

Cálculos

- Para obtener el resultado en % utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez como Ácido Acético, \% peso} = \frac{N \times V \times 0,12}{D}$$

- Para obtener el resultado en ppm utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez como Ácido Acético, ppm} = \frac{N \times V \times 1200}{D}$$

Dónde:

- N: Normalidad de la solución de NaOH
- V: Volumen de solución de NaOH aprox. 0,05 N gastados en la titulación de la muestra, expresados en ml.
- D: Densidad de la muestra.
- Registrar el resultado correspondiente al análisis en el Registro correspondiente.

10.5.5 Color CH₃Cl – ASTM D-1209

Resumen de la técnica

Se utiliza una escala de color específica para evaluar la calidad de los líquidos de color claro a amarillento, llamada escala Pt/Co (platino-cobalto), escala APHA-Hazen o escala APHA. Generalmente se describe en ASTM D-1209.

La norma ASTM D-1209 describe para la comparación de la intensidad del color de la muestra amarilla. El rango de la escala de color de APHA es de 0 a 500 en ppm (partes por



millón) de cobalto de platino a agua destilada, que es el punto cero (también llamado agua blanca).

Procedimiento

Introducir 100 ml de muestra en un tubo Nessler, pasando la muestra a través de un filtro si tiene alguna turbidez visible.

Tapar el tubo, colocarlo en el comparador y compararlo con los estándares.

Resultados

Mediante método específico para informar los resultados. Se determina qué estándar es el más cercano a la muestra, se informa su número de estándar de color.

Si la diferencia de tono entre el estándar y el espécimen es difícil de determinar una coincidencia, se puede informar notando que está "fuera de tono".



Figura 24: Comparador de color

10.5.6 Aspecto CH₃Cl – ASTM D-4670

Muestreo

- Utilizar un recipiente de vidrio transparente de 1 litro de capacidad para la toma de muestra.
- Extraer la muestra directamente en el recipiente contenedor, como sigue:



- Asegurar que la válvula de toma de muestra esté limpia, libre de sólidos contaminantes. Si hay herrumbre u otro tipo de incrustación, limpiar con un paño y dejar correr el producto un tiempo considerado antes de tomar la muestra.
- Enjuagar el recipiente de muestra con el espécimen a analizar, y desechar.
- Extraer aproximadamente 900 ml en el envase lo más rápido posible.

Procedimiento

- Chequear visualmente si hay evidencia de partículas contaminantes.
- Sostener la muestra hacia la luz y examinar visualmente si existe turbidez o falta de claridad.
- Agitar la muestra de forma tal que se produzca un remolino y examinar si en el fondo del vórtice formado hay presencia de partículas.

Resultados

- Para análisis realizados en laboratorio, los reportes deben incluir la temperatura a la cual se analizó la muestra.
- Será considerado como **APROBADO** si: a) la muestra ha sido encontrada clara y brillante en la observación visual, y b) si no hubo partículas observadas en el fondo del vórtice.
- Será considerado como **RECHAZADO** si a) o b) no se cumplen.
- No es práctico definir la precisión de este método ya que es un método del tipo APROBACION/RECHAZO, y no mide cuantitativamente.



CAPÍTULO 11

OBRAS CIVILES

11.1 Descripción general

El predio disponible para la ubicación de la planta presenta una superficie total de 1,18 ha. El establecimiento está circundado en todo su perímetro mediante un cerco, construido de 50 cm de mampostería (desde el piso), y 1.5 m de tejido perimetral, con iluminación artificial.

La propiedad tiene un acceso principal y otro secundario. A la izquierda del acceso principal, está ubicada la casilla de seguridad, para controlar el ingreso y la salida del personal y vehículos, y la playa de estacionamiento.

Las calles internas son pavimentadas y cuentan con la iluminación correspondiente.

Además, se dispone de un espacio verde, para futuras ampliaciones.

La nave industrial está formada por los siguientes sectores: almacenamiento de materia prima, sector de reactor, destilación, almacenamiento y despacho de producto, laboratorio, taller de mantenimiento, logística, sala de caldera. a distribución de estos sectores, se tuvo en cuenta el movimiento del personal y del producto, siguiendo la secuencia de operaciones, desde la recepción de la materia prima hasta la expedición del producto terminado.

Los vestuarios y baños se ubican distantes del sector de producción para evitar la exposición de los operarios a posibles riesgos laborales debido a la manipulación de los productos químicos. Se señalizará el recorrido del personal mediante sendas peatonales.

De la misma manera se ubicarán las oficinas administrativas y de jefaturas fuera de la nave industrial.

En la siguiente tabla se detalla la superficie ocupada por cada uno de los sectores



Tabla 69: Superficie expresada en m² de cada sector de la nave industrial. Fuente: Elaboración propia

Sector		Superficie ocupada (m²)
Nave Industrial	Almacenamiento de MP	84
	Equipos	30
	Producción	120
	Almacenamiento y despacho	146
	Laboratorio	10,5
	Taller de Mantenimiento	60
	Logística	5
	Sala de Caldera	25
Vestuario Hombre		12
Vestuario Mujeres		12
Baño Hombres		20
Baño Mujeres		20
Comedor		24
Oficinas administrativas y de jefatura		48

11.2 Descripción de los sectores

11.2.1 Nave industrial

El cerramiento lateral de la nave industrial está formado por columnas de hormigón armado, con sus vigas correspondientes formando pórticos, localizadas dentro de los muros que serán de hormigón armado a la vista con hierro de diámetro 8 mm cada 20 cm para el sector del reactor, sala de caldera y destilación, o de mampostería con ladrillos block de cemento de 19 x 19 x 39 cm, en el resto de las secciones. La terminación del exterior es con revoque grueso, fino y pintura látex. El edificio tiene un soldado perimetral construido de piso allanado, de 1.5 m de ancho.

11.2.1.1 Sector de Equipos

Cubierta:

Chapa, con pendiente del 5 %, 50 mm de lana de vidrio para aislación térmica, y terminación interior de aluminio.



Losa de hormigón armado, con pintura impermeabilizante (asfáltica en emulsión acuosa), sobrecarga de hormigón de poliestireno en perlas, y protección con tejas, formando una pendiente del 2 % para evacuación del agua de lluvia mediante caños de PVC reforzado embutidos en los muros, a una altura de 8 m.

Mampostería interior:

Hormigón armado a la vista con hierro de diámetro 8 mm cada 20 cm. Terminación con revoque grueso, fino y pintura epoxi. Se utiliza este tipo de estructura por seguridad ante una explosión, ya que el reactor trabaja a presión elevada.

El resto de las paredes está construido de ladrillo block de cemento de 13 x 19 x 39 cm. Terminación con revoque grueso, fino y pintura epoxi.

Piso:

Hormigón con revestimiento epoxi. Cerca de los equipos se localizarán desagües con rejillas, para la eliminación de aguas de lavado y derrames.

Aberturas:

- Puerta de aluminio para ingreso desde el exterior, de 1,2 m de ancho por 2 m de alto.
- Puerta de aluminio para comunicación con el laboratorio, de 1,2 m de ancho por 2 m de alto.
- Ventanas de aluminio y vidrio con protección contra roturas, de 1 m de ancho.

11.2.1.2 Sector de Almacenamiento y despacho

Piso:

Hormigón con revestimiento epoxi. Desagües con rejillas, para la eliminación de aguas de lavado y derrames.

Para sector de despacho y Almacenamiento

Chapa, con pendiente del 5 %, a una altura de 5 m.

11.2.1.3 Sector de laboratorio

Cubierta:

Losa de hormigón armado, con pintura impermeabilizante (asfáltica en emulsión acuosa), sobrecarga de hormigón de poliestireno en perlas, y protección con tejas,



formando una pendiente del 2 % para evacuación del agua de lluvia mediante caños de PVC reforzado embutidos en los muros, a una altura de 5 m.

A una altura de 3 m se coloca un cielorraso construido de placas Durlock.

Mampostería interior:

La pared en común con el sector equipos es de hormigón armado a la vista con hierro de diámetro 8 mm cada 20 cm. El resto está construido de ladrillo block de cemento de 13 x 19 x 39 cm. Terminación con cerámicos blancos.

Piso:

Hormigón revestido con cerámicos blancos.

Aberturas:

- Puerta de aluminio para comunicación con el sector producción, de 1.2 m de ancho por 2 m de alto.
- Puerta de aluminio para acceso desde el exterior, de 1.2 m de ancho por 2 m de alto.
- Ventanas de aluminio y vidrio con protección contra roturas, de 1 m de ancho por 0.7 m de alto.

Dentro del laboratorio hay mesadas construidas de mampostería, y con una cubierta superior de cerámicos, sobre las cuales se ubican los instrumentos de análisis. Debajo de las mesadas hay estantes cerrados con puertas, para guardar reactivos, entre otras cosas.

También se dispone de una mesada de acero inoxidable con pileta provista de agua fría y caliente.

El sector cromatografía está aislado del resto del laboratorio mediante una pared de aluminio hasta una altura de 1 m y vidrio hasta el techo, con acceso por medio de una puerta de aluminio de 1.2 m de ancho y 2 m de alto. Este sector cuenta con mesada de aluminio, y bajo mesada con estantes cerrados con puertas.

11.2.1.4 Taller de mantenimiento

En esta sección de la nave industrial, se realizan todas las tareas de reparaciones correspondientes, excluyendo soldadura.



Cubierta:

Chapa, con pendiente del 5 %, a una altura de 5 m.

Mampostería interior:

Las paredes interiores son comunes con el sector de hidrogenación y almacén de baterías de cilindros, por lo cual están construidas de hormigón armado a la vista con hierro de diámetro 8 mm cada 20 cm. Terminación con revoque grueso, fino y pintura látex.

Piso:

Hormigón allanado.

Aberturas:

Portón de chapa galvanizada para acceso, de 2.5 m de ancho por 3 m de alto.

11.2.1.5 Sala de caldera

Cubierta:

Chapa, con pendiente del 5 % a una altura de 5 m.

Mampostería interior:

Hormigón armado a la vista con hierro de diámetro 8 mm cada 20 cm. Terminación con pintura látex. Se utiliza este tipo de estructura según los requerimientos de fabricantes de calderas.

Piso:

Hormigón allanado.

Aberturas:

Portón de chapa galvanizada para acceso desde el exterior de 4 m de ancho por 3 m de alto.



11.2.1.6 Vestuarios, Baños, Comedor

Cubierta:

Losas de hormigón armado, con pintura impermeabilizante (asfáltica en emulsión acuosa), sobrecarga de hormigón de poliestireno en perlas, y protección con tejas, formando una pendiente del 2 % para evacuación del agua de lluvia mediante caños de PVC reforzado embutidos en los muros, a una altura de 5 m.

A una altura de 3 m se coloca un cielorraso construido de placas Durlock.

Mampostería interior:

Ladrillo block de cemento de 13 x 19 x 39 cm. Terminación con revoque grueso, fino y pintura látex. En el baño las paredes tienen azulejos hasta una altura de 1.75 m.

Piso:

Hormigón revestido con cerámicos.

Aberturas:

- Puerta de aluminio para ingreso al sector de vestuarios desde el exterior, de 1.2 m de ancho por 2 m de alto.
- Puertas de aluminio para acceso a los vestuarios, de 1.2 m de ancho por 2 m de alto.
- Puerta de aluminio para comunicación entre el sector de vestuarios y el pasillo que lleva a la zona de producción, de 1.2 m de ancho por 2 m de alto.
- Puertas de aluminio para acceso a los baños, de 1.2 m de ancho por 2 m de alto.
- Puerta de acceso al comedor, de aluminio, de 1.2 m de ancho por 2 m de alto.
- Ventanas de aluminio y vidrio con protección contra roturas, de 1 m de ancho por 0.7 m de alto.

11.2.2 Oficinas administrativas

Este edificio presenta los siguientes sectores:

- Recepción
- Oficinas
- Oficina de gerencia
- Oficina de jefaturas



- Archivos
- Cocina
- Comedor
- Baños

Cubierta:

La cubierta superior es de losa de hormigón armado a una altura de 3.5 m, con pintura impermeabilizante (asfáltica en emulsión acuosa), sobrecarga de hormigón de poliestireno en perlas, y protección con tejas, formando una pendiente del 2 % para evacuación del agua de lluvia mediante caños de PVC reforzado embutidos en los muros.

Mampostería:

Las paredes externas son de ladrillo block cerámico de 19 x 19 x 39 cm, terminadas en el exterior e interior con revoque grueso, fino y pintura látex. Las paredes internas están construidas de paneles durlock de 13 cm aproximadamente, y pintados al látex.

Piso:

Hormigón revestido con cerámicos.

Aberturas:

Las puertas son de aluminio de 1.2 m de ancho por 2 m de alto, y las ventanas de aluminio de 1 m de ancho por 0.7 m de alto.



CAPÍTULO 12

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

12.1 Introducción

En el presente capítulo se describen los elementos y tipos de instrumentos a utilizar para realizar las conexiones de la instalación eléctrica de la planta en cuestión. El Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), es el encargado de redactar las normas argentinas, las cuales estandarizan las características de los componentes eléctricos determinando un mínimo de calidad y las condiciones en que ésta puede ser verificada por medio de ensayos. Las elecciones se basan principalmente en las normas que regulan este tipo de servicio, además de adoptar los materiales y equipos que se consideran apropiados respecto a costo, espacio, mantenimiento y confiabilidad.

12.2 Características generales

12.2.1 Sistema eléctrico

Teniendo como objetivo reducir los costos, proteger y conducir la energía eléctrica, se hace importante lograr un equilibrio entre los equipos de protección, el diámetro de los conductores a utilizar, las distancias a recorrer, etc. La instalación eléctrica debe ser tal que pueda optimizarse todo lo que respecta a distancias, secciones de cables, equipos de protección y todo lo concerniente a una instalación completa y principalmente segura.

Las principales partes del sistema de instalación eléctrica son:

12.2.2 Tableros

La función principal de los tableros es la de producir el ordenamiento y bifurcación de los circuitos en la que se secciona una instalación eléctrica. En los tableros podemos encontrar los siguientes elementos:

Interruptores manuales o termomagnéticos, contactores y conmutadores, todos estos son elementos de maniobra.

- Tapones cartucho, fusibles, etc., siendo estos elementos de protección.
- Medidores de energía, voltímetros, etc., siendo estos elementos de medición.



- Los tableros se pueden clasificar desde el punto de vista operacional en:
- Tablero Principal, que comanda toda la instalación de la planta.
- Tablero Seccional, que opera varios circuitos.
- Tablero Sub - Seccional, que es el encargado de operar solo una parte del circuito.

En un tablero, cada circuito tiene su interruptor y su correspondiente elemento de protección, para permitir sacar de servicio cualquier circuito y efectuar reparaciones o renovaciones sin correr riesgos de electrocución.

12.2.3 Tablero principal

Al tablero principal ingresa la línea principal y de éste derivan las demás. Se encuentra en una sala confeccionada para tal fin cerca de la sala de guardia, para garantizar resguardo de las condiciones climáticas y de todo factor que pudiera ocasionar un perjuicio como así también una cercanía adecuada a los principales puntos de consumo.

La línea principal conecta el medidor de energía con el tablero principal. El tendido es subterráneo ubicado a 80 cm de la superficie, dentro de un caño de PVC.

Contiene los interruptores diferenciales y termomagnéticos para la protección de las líneas y los capacitores necesarios para la corrección del coseno φ .

12.2.4 Tableros seccionales

Los tableros seccionales se ubican en distintas aéreas de la planta, ya sea a resguardado o a la intemperie, los cuales son indicados oportunamente. Los tableros deben estar en zonas que permitan un fácil y libre acceso con una adecuada iluminación y señalización.



Tabla 70: Descripción de los tableros

Tablero seccional – Sector vinculado	Comanda
Edificios de guardia	Luminarias interiores Tomas monofásicas
Estacionamiento	Luminarias exteriores
Edificio central de administración	Luminarias interiores Tomas monofásicas
Comedor	Luminarias interiores Tomas monofásicas
Enfermería	Luminarias interiores Tomas monofásicas
Edificio para depósito de muestras	Luminarias interiores Tomas monofásicas
Edificio de producción y control de calidad	Luminarias interiores Tomas monofásicas
Sala de caldera	Luminarias interiores Tomas monofásicas Tomas trifásicas
Sala de compresor	Luminarias interiores Tomas monofásicas Tomas trifásicas
Sala de tratamiento de agua	Luminarias interiores Tomas monofásicas Tomas trifásicas
Almacenamiento de materia prima y agua tratada	Luminarias exteriores
Torres de enfriamiento	Luminarias exteriores
Proceso	Luminarias exteriores Tomas monofásicas Tomas trifásicas
Tratamiento de efluentes	Luminarias exteriores
Almacenamiento de productos	Luminarias exteriores
Edificio de mantenimiento	Luminarias interiores Tomas monofásicas Tomas trifásicas

Los tableros seccionales distribuyen la corriente a los distintos puntos de consumo, agrupados en sectores, los cuales están protegidos por fusibles o interruptores termomagnéticos seleccionados de acuerdo con la intensidad de corriente que circula.



Se utiliza una tensión de 220 V para líneas monofásicas y 380 V para trifásicas. Para las tomas trifásicas se utilizan, como es sabido, las tres fases (R, S y T), distribuyéndose en cada una la misma intensidad de corriente.

12.2.5 Bocas para alumbrado y tomacorrientes

Para la alimentación de los tomacorrientes y las lámparas se utilizan conductores de cobre especiales para instalaciones industriales resistentes a la llama. El conductor es conducido por caño dentro de los distintos locales.

Los tomacorrientes que se destinan para oficinas y usos generales son calculados para 300 W. También se incorporan tomacorrientes para taller, en donde puede ser necesario la conexión de motores, estos son calculados para 1000 W.

12.2.6 Protección

Los métodos empleados para la protección son:

- Puesta a tierra de protección
- Circuito de protección por interruptores diferenciales

La importancia de la puesta a tierra en instalaciones industriales radica en la seguridad contra tensiones peligrosas para las personas por contactos indirectos.

Los interruptores diferenciales en casos de fallas deben actuar desconectando la alimentación en tiempos que estén vinculados a los efectos fisiológicos sobre el cuerpo humano, de la corriente circulante. Al detectarse corrientes de fuga, es decir provenientes de un contacto directo o indirecto, el dispositivo se dispara y saca de funcionamiento la zona en cuestión.

Por último, se presentan los dispositivos que protegen a los circuitos de los efectos dados por una sobre intensidad en la línea, la que puede estar originada por un cortocircuito o una sobrecarga:

- Fusibles, son los que se activan cuando la corriente sobrepasa un valor prefijado en un lapso determinado, siendo su misión la de abrir el circuito y cancelar el paso de corriente.



- Relés térmicos, acompañados de fusibles protegen los motores cuya potencia asciende a valores por encima de 750 W. Su función es la de controlar el calentamiento de las bobinas de los motores y desconectan el circuito cuando la temperatura excede un valor determinado.
- Contactores, son aparatos mecánicos accionados por un electroimán que opera en una sola posición (cerrado o abierto). Estos dispositivos son los encargados de surtir la energía eléctrica requerida por los motores para su funcionamiento y, accionados desde la sala de control, pueden dar o interrumpir el suministro eléctrico en cuanto el personal lo mande.
- Llaves termomagnéticas, se usan para librar y proteger de sobrecalentamiento a las líneas de conducción eléctrica. Su funcionamiento es similar al del relé, pero su aplicación está vinculada con las luminarias e instalaciones eléctricas del tipo administrativo.

12.2.7 Protección contra descargas eléctricas

Debe crearse un sistema completo de protección contra el rayo, que consta de un sistema externo y un sistema interno. El sistema externo comprende un dispositivo captor (terminal aéreo), las bajadas del mismo y el sistema de puesta a tierra.

El sistema interno comprende todos los dispositivos complementarios al externo que permiten reducir los efectos electromagnéticos de la corriente del rayo en el espacio a proteger.

Se colocan dos pararrayos, que están ubicados en edificio de producción y edificio de mantenimiento.

12.3 Servicio de energía eléctrica

La energía eléctrica es suministrada a la planta de producción por la Empresa Provincial de Energía de Córdoba (E.P.E.C.).

Esta empresa establece una línea de 33 kVA y estación transformadora de 15 MW, instalada dentro de cada parcela del P.I. (parque industrial), con suministro de energía



eléctrica en media tensión de 13,2 kV y red interna de distribución e iluminación interna y perimetral.

12.3.1 Cálculo de luminarias y de consumo de potencia de equipos

12.3.1.1 Iluminación interior

Para la iluminación interior se selecciona: Módulo LED no reemplazable, 40 W, 3600 Lúmenes. Se muestra a continuación.



Figura 25: Modelo LED36S/840 PSU W60L60 (Phillps). Fuente: www.Phillips.com

Método de cálculo:

Niveles de iluminación: antes de comenzar los cálculos de iluminación se debe contar con los valores requeridos para el tipo de actividad a desarrollar en cada sector.

Índice del local (k): los locales a iluminar se clasifican según la relación existente entre sus dimensiones, la altura de montaje y el tipo de alumbrado. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$k = \frac{A \times L}{h \times (A + L)}$$

Dónde:

- A: ancho del local (m).
- L: longitud del local (m).
- H: altura de montaje (m).

Factor de mantenimiento (f_m): En términos generales, se pueden establecer los factores de mantenimiento que aparecen en la siguiente tabla, que son función del ambiente



de trabajo. Este factor se obtiene por la multiplicación de tres factores (la depreciación del flujo de la lámpara, la depreciación de la luminaria y la depreciación de la superficie del local).

Tabla 71: Factores de mantenimiento

Ambiente de trabajo	fm
Acerías, fundiciones	0,65
Industrias de soldadura, mecanizado	0,70
Oficinas industriales, salas	0,75
Patios de operaciones, locales públicos	0,80
Despachos, oficinas comerciales, informáticas	0,85

Factor de utilización o utilancia (f_u): es la relación entre el flujo luminoso que llega al plano de trabajo y el flujo total que emiten las lámparas instaladas. Es un dato muy importante para el cálculo del alumbrado y depende de una diversidad de factores como el valor adecuado del nivel de iluminación, el sistema de alumbrado, las luminarias, las dimensiones del local, la reflexión (techos, paredes y suelo) y el factor de mantenimiento. En general, para su determinación, se utiliza el método de las reflectancias y existen, actualmente, muchas situaciones y valores tabulados según cada fabricante e incluso programas para usuarios que facilitan los cálculos para el usuario, tal como se realizó en el presente proyecto. A la hora de manejar este factor, debe tener en cuenta si está contemplado el rendimiento (h) de la luminaria para su posterior uso de la ecuación de alumbrado.

Consideraciones y proceso de cálculo:

- Características geométricas del local.
- Características de reflexión de las diferentes superficies.
- Obtención de los valores requeridos para las diferentes actividades a desarrollar.
- Seleccionar el tipo de luminaria a instalar en función de las características del local.



- Cuando realizamos el cálculo de la iluminación de un local por el método del factor de utilización, es necesario conocer el rendimiento de la luminaria y el valor de k.
- Una vez que se cuenta con toda esta información se aplica la siguiente ecuación.

$$E_{ms} = \frac{N_i \times N_l \times \eta \times f_u \times f_m}{S}$$

Dónde:

- E_{ms} : iluminación media en servicio.
- N_i : Flujo luminoso unitario de la lámpara.
- N_l : número de lámparas (a determinar).
- η : rendimiento de la lámpara.
- f_u : factor de utilización.
- f_m : factor de mantenimiento.
- S : superficie a iluminar.

A continuación, se detallan las necesidades de iluminación en los diferentes ambientes interiores de la planta, siguiendo el esquema de cálculo indicado anteriormente:

Tabla 72: Necesidad de iluminación en Sala de guardia

Sala de guardia								
ID	Sector	N_i (Lux)	Superficie (m ²)	N_l (cantidad de luminarias)	Potencia de la lámpara (W)	Potencia total (kW)	Consumo (kW/día)	Consumo mensual (kW)
1	Sala de guardia	100	13,50	4	40	0,23	1,85	55,68
2	Sanitario	100	5,00	2	40	0,12	0,96	23,04
CONSUMO TOTAL EDIFICIO								78,72



Tabla 73: Necesidad de iluminación en Sala del edificio central

Edificio central de administración								
ID	Sector	N _i (Lux)	Superficie (m ²)	NI (cantidad de luminarias)	Potencia de la lámpara (W)	Potencia total (kW)	Consumo (kW/día)	Consumo mensual (kW)
1	Sala central	300	28,60	15	40	0,87	6,96	208,80
2	Oficina de gerente comercial	300	14,00	6	40	0,35	2,80	84,00
3	Oficina gerente contable y de finanzas	300	14,00	6	40	0,35	2,80	84,00
4	Oficina gerente de RRHH	300	14,00	6	40	0,35	2,80	84,00
5	Biblioteca	300	31,50	15	40	0,87	6,96	208,80
6	Oficina gerente de ingeniería y producción	300	14,00	6	40	0,35	2,80	84,00
7	Oficina gerente general	300	22,75	12	40	0,70	5,60	168
8	Secretaría de gerente general	300	14,00	6	40	0,35	2,80	84,00
9	Oficina gerente de higiene y seguridad	300	14,00	6	40	0,35	2,80	84,00
10	Sala de capacitación y usos comunes	300	14,00	6	40	0,35	2,80	84,00
11	Cocina	100	7,13	1	40	0,06	0,46	13,80
12	Despensa	100	2,50	1	40	0,06	0,46	13,80
13	Sanitarios y vestuarios femeninos	300	18,00	9	40	0,52	4,16	124,80
14	Sanitarios y vestuarios masculinos	300	18,00	9	40	0,52	4,16	124,80
CONSUMO TOTAL EDIFICIO								1.450,80



Tabla 74: Necesidad de iluminación en Sala del comedor

Comedor								
ID	Sector	N _i (Lux)	Superficie (m ²)	N _i (cantidad de luminarias)	Potencia de la lámpara (W)	Potencia total (kW)	Consumo (kW/día)	Consumo mensual (kW)
1	Cocina	300	21,00	10	40	0,58	4,64	111,36
2	Comedor	300	65,50	24	40	1,39	11,12	266,88
3	Sanitario masculino	300	7,00	4	40	0,23	1,84	44,16
4	Sanitario femenino	300	6,25	4	40	0,23	1,84	44,16
CONSUMO TOTAL EDIFICIO								466,56

Tabla 75: Necesidad de iluminación en Sala de depósito de muestras

Edificio para depósito de muestras								
ID	Sector	N _i (Lux)	Superficie (m ²)	N _i (cantidad de luminarias)	Potencia de la lámpara (W)	Potencia total (kW)	Consumo (kW/día)	Consumo mensual (kW)
1	Sala de espera	300	14,00	6	40	0,35	2,80	67,20
CONSUMO TOTAL EDIFICIO								67,20

Tabla 76: Necesidad de iluminación en Sala de enfermería

Enfermería								
ID	Sector	N _i (Lux)	Superficie (m ²)	N _i (cantidad de luminarias)	Potencia de la lámpara (W)	Potencia total (kW)	Consumo (kW/día)	Consumo mensual (kW)
1	Sala de espera	300	24,00	12	40	0,70	5,60	134,40
2	Consultorio	300	12,25	6	40	0,35	2,80	67,20
3	Sala de primeros auxilios	300	19,25	9	40	0,52	4,16	99,84
4	Sanitario	300	9,00	4	40	0,23	1,84	44,16
CONSUMO TOTAL EDIFICIO								345,60



Tabla 77: Necesidad de iluminación en Sala de producción y control de calidad

Edificio de producción y control de calidad								
ID	Sector	N _i (Lux)	Superficie (m ²)	N _i (cantidad de luminarias)	Potencia de la lámpara (W)	Potencia total (kW)	Consumo (kW/día)	Consumo mensual (kW)
1	Laboratorio	500	60,12	44	40	2,55	20,40	612,00
2	Sala de control	300	10,50	6	40	0,35	2,50	75,00
3	Sanitarios	300	22,75	12	40	0,70	5,60	168,00
4	Ingreso y pasillos	300	68,52	34	40	1,97	15,76	472,80
CONSUMO TOTAL EDIFICIO								1.323,80

Tabla 78: Necesidad de iluminación en Sala de caldera y compresor

Edificio caldera y compresor								
ID	Sector	N _i (Lux)	Superficie (m ²)	N _i (cantidad de luminarias)	Potencia de la lámpara (W)	Potencia total (kW)	Consumo (kW/día)	Consumo mensual (kW)
1	Sala de caldera	100	225,00	28	36	1,00	8,00	240,00
2	Sala de compresor	100	72,00	16	36	0,58	4,64	139,20
CONSUMO TOTAL EDIFICIO								379,20

Tabla 79: Necesidad de iluminación en Sala de tratamiento de agua

Edificio de tratamiento de agua								
ID	Sector	N _i (Lux)	Superficie (m ²)	N _i (cantidad de luminarias)	Potencia de la lámpara (W)	Potencia total (kW)	Consumo (kW/día)	Consumo mensual (kW)
1	Sala de equipo de ósmosis inversa	100	120,00	22	36	0,80	6,40	192,00
CONSUMO TOTAL EDIFICIO								192,00



12.3.1.2 Iluminación exterior

Se utilizan lámparas led modelo NOVA LED 90W UL 8100 LM (Código del producto: P25361-36) marca Sylvania.

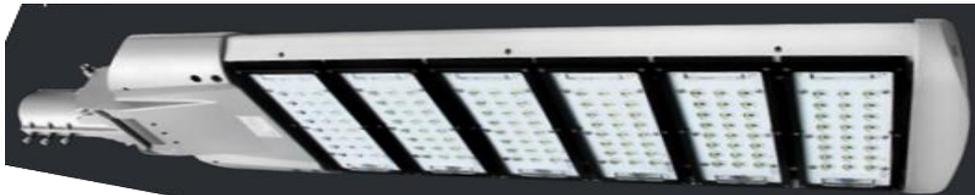


Figura 26: NOVA LED 90W UL 8100 LM (Código del producto: P25361-36) marca: Sylvania

Tabla 80: Necesidad de iluminación en Vía de circulación vehicular

Vía de circulación vehicular								
ID	Sector	Distanciamiento entre columnas (m)	Altura de columna (m)	N _l (cantidad de luminarias)	Potencia de la lámpara (W)	Potencia total (kW)	Consumo (kW/día)	Consumo mensual (kW)
1	Carretera	30	10	22	90	1,98	15,84	475,20
CONSUMO TOTAL CARRETERA								475,20

Tabla 81: Necesidad de iluminación en Estacionamiento

Estacionamiento								
ID	Sector	Distancia entre columnas (m)	Altura de columna (m)	N _l (cantidad de luminarias)	Potencia de la lámpara (W)	Potencia total (kW)	Consumo (kW/día)	Consumo mensual (kW)
1	Motocicletas y bicicletas	30	10	4	90	0,36	2,88	86,40
2	Vehículos empleados							
3	Vehículos proveedores	30	10	2	90	0,18	1,44	43,20
CONSUMO TOTAL ESTACIONAMIENTO								129,60



La siguiente tabla indica las necesidades de luminarias para los siguientes sectores de la planta:

- Zona de proceso.
- Zona de los tanques de almacenamiento de materia prima.
- Zona de los tanques de producto terminado.
- Zona donde se encuentran los edificios C, D y E.

Tabla 82: Necesidad de luminarias en varios sectores de la planta

Varios								
ID	Sector	Distanciamiento entre columnas (m)	Altura de columna (m)	N _i (cantidad de luminarias)	Potencia de la lámpara (W)	Potencia total (kW)	Consumo (kW/día)	Consumo mensual (kW)
	Varios	30	10	28	90	2,52	20,16	604,80
CONSUMO TOTAL								604,80

Tabla 83: Resumen sobre necesidades de iluminación

Sector	Cantidad de luminarias (N _i)	Consumo mensual total (kW/mes)
Interior	354	4.304,88
Exterior	56	1.209,60
CONSUMO TOTAL		5.514,48



12.4 Consumo de potencia de los equipos

A continuación, se detalla la potencia consumida por cada uno de los equipos que de la planta.

Tabla 84: Consumo de potencia de equipos

Equipo	Consumo (kW)	Consumo por día (kW/día)	Consumo mensual (kW/mes)
R-01	4.600,00	110.400,00	3.312.000,00
CF-02	7,40	177,60	5.328,00
ME-03	147,00	3.528,00	105.840,00
D-04	3,20	76,80	2.304,00
RC-05	11,87	284,88	8.546,40
CR-06	4,45	106,80	3.204,00
CA-07	1.426,00	34.224,00	1.026.720,00
T-08	2,20	52,80	1.584,00
CD-09	40,00	960,00	28.800,00
RD-10			
POTENCIA TOTAL CONSUMIDA			4.494.356,40



CAPÍTULO 13

SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL

13.1 Introducción

Una meta de la ingeniería química, y específicamente de los ingenieros involucrados en el diseño de plantas industriales, es la de generar productos y servicios que incrementen la calidad de vida y que garanticen un desarrollo seguro y sostenible. Por lo tanto, no se pueden obviar, durante el diseño, los peligros potenciales para la salud y seguridad de las personas, así como los perjuicios que se puedan llegar a generar para el medio ambiente.

13.2 Legislación industrial

La legislación industrial resulta de conocimiento y consulta imprescindibles para el ingeniero que intervenga en proyectos industriales y condiciona de manera decisiva el diseño de una planta de producción.

El objeto común a toda legislación industrial está en la seguridad de personas, bienes y medio ambiente.

El desarrollo del diseño de la Planta de Producción de Dimetildiclorosilano, se basa en el panorama legislativo vigente en nuestro país, en lo que respecta a seguridad industrial; esto es:

Ley de seguridad e higiene en el trabajo N° 19587

Ley de riesgos de trabajo N° 24557

Y, en las recomendaciones y exigencias establecidas por organizaciones internacionales que se ocupan de la seguridad industrial.

13.3 Política de higiene y seguridad

Mejorar la calidad de vida y contribuir a un desarrollo seguro y sostenible es el fin último de las prácticas que se desarrollarán respecto a la seguridad e higiene industrial. Esta meta no sería posible sin la cooperación de todos los integrantes de la empresa, desde los más altos hasta los más bajos niveles, lo que incluye tanto a los directivos como a los diferentes departamentos. Para ello, la gerencia se compromete a generar conciencia sobre



la importancia de los aspectos que incluye una planta segura en el personal involucrado en todas las secciones del establecimiento. Esta conciencia deberá derivar, en última instancia, en un fuerte compromiso por parte del personal hacia las prácticas seguras y responsables.

Las intenciones globales respecto a lo relacionado con salud, seguridad y medio ambiente, queda plasmada en la siguiente declaración, la cual constituye la política en materia de higiene y seguridad de la empresa.

“ Es política de la empresa contribuir a la preservación del ambiente, prevenir la contaminación de este y cumplir los compromisos que asuma a su contexto.

Eliminar los peligros y reducir los riesgos asociados a la Salud y Seguridad en el Trabajo.

Se involucrará, dentro de esta política, a la totalidad del personal que conforma la empresa, haciéndose responsables a todos de llevarla adelante. ”

Esta declaración se colocará en carteles ubicados en las diferentes zonas del establecimiento para que sea conocida y respetada por todos los miembros de la organización.

13.3.1 Gestión de higiene y seguridad

La responsabilidad sobre cuestiones relacionadas con higiene y seguridad de la planta recaerá sobre los miembros del Departamento de Higiene y Seguridad.

El departamento de higiene y seguridad será el encargado de proteger la vida, y preservar y mantener la integridad, tanto psicológica como física, de los trabajadores y de las personas que se encuentren vinculadas con el ciclo de vida del producto; también es de su incumbencia las prácticas relacionadas con la protección del medio ambiente, tanto interno como externo. Para lograr todo esto, los responsables de higiene y seguridad deberán involucrarse íntimamente con el proceso productivo.

El área de higiene y seguridad se encargará de la anticipación, identificación, evaluación y control de riesgos que se originen en el ámbito de trabajo o en relación con él.



13.3.2 Estructura del departamento de higiene y seguridad.

La estructura de la empresa, departamento y personal está conformada según lo establecido en el capítulo Organización de la empresa, donde se detalla el organigrama de toda la planta.

13.3.3 Responsabilidades del departamento de higiene y seguridad.

Las responsabilidades de los miembros del departamento de higiene y seguridad, al igual que su estructura, se exponen en el capítulo antes mencionado; siempre respetando la ley vigente.

Además, les corresponde a los integrantes de este departamento junto con el directorio de la empresa elaborar e implantar un sistema de reglamentaciones generales y particulares. Estas reglamentaciones conformarán el *Manual de Higiene y Seguridad de la empresa*, el cual se dividirá por sectores en función de las distintas actividades de esta.

El Manual de Higiene y Seguridad de la empresa estará basado en las recomendaciones y exigencias internacionales, adaptadas a las características del país. Por lo tanto, las disposiciones propias de la empresa y específicas de la actividad, estarán en concordancia con la legislación vigente nacional e internacional.

Es responsabilidad del gerente del departamento de higiene y seguridad cerciorarse de que todos los empleados conozcan los puntos del manual y es responsabilidad de los trabajadores cumplir con estas reglamentaciones.

Cualquier incumplimiento será sancionado y dichas sanciones serán previamente establecidas por el departamento de higiene y seguridad junto con la gerencia de la empresa.

13.3.4 Seguridad en el diseño

Todas las áreas de la ingeniería de diseño deben satisfacer las reglamentaciones específicas de seguridad, así como códigos y recomendaciones.

13.4 Proceso

Los diseñadores son responsables de remarcar las áreas de proceso donde los riesgos potenciales exceden a las expectativas normales de riesgo en la planta.



Riesgos potenciales de proceso

- Temperaturas máximas y mínimas.
- Presiones máximas y mínimas.
- Reacciones peligrosas.
- Materias tóxicas y peligrosas.
- Materias corrosivas.

El proceso productivo de Dimetildiclorosilano se encuentra detallado en el capítulo correspondiente a *Selección y descripción del proceso de producción*. En dicho capítulo se detallan las condiciones de proceso, destacándose aquellas que significan mayores riesgos. Allí se encuentran también algunas de las medidas tenidas en cuenta en lo que respecta a la higiene y seguridad de la planta; las demás consideraciones se desarrollan a lo largo de todo el proyecto según el área que corresponda. Al final de este capítulo se encuentran los datasheet (planillas de datos) de todas las sustancias que se manipulan durante la producción, ya sea que se trate de materias primas, productos o subproductos.

13.4.1 Diseño de equipos

Las recomendaciones para el diseño detallado de los equipos deben ser semejantes a las hechas para el diseño del proceso.

Consideraciones para el diseño de equipos

- Temperaturas máximas de diseño.
- Presiones máximas de diseño.
- Protecciones frente a partes móviles del equipo.
- Aislamiento acústico.
- Aislamiento térmico.
- Aislamiento para protección personal.
- Soportes a prueba de fuego.



Los equipos principales del proceso de producción de Dimetildiclorosilano se encuentran detallados en el capítulo correspondiente a *Diseño y Adopción de equipos*. Allí se encuentran algunas de las medidas tenidas en cuenta respecto a higiene y seguridad al momento de adoptar el tipo de equipo a utilizar; las demás consideraciones se desarrollan a lo largo de todo el proyecto según el área que corresponda.

13.5 Obras civiles y estructurales

Los edificios deben satisfacer códigos locales y nacionales de construcción que incluyen requerimientos específicos de seguridad. Además, las unidades pueden llegar a requerir medidas adicionales de seguridad, las cuales se deben tener presentes.

Consideraciones sobre obras civiles y estructurales:

- Seguridad en espacios interiores.
- Materiales de construcción.
- Seguridad en materiales de construcción.
- Sectorización de la planta.
- Emplazamiento de edificios.
- Diseño frente a terremotos.
- Diseño considerando la carga máxima de viento.
- Cargas de diseño para equipos y tuberías.
- Cargas máximas combinadas.
- Equipo para elevación de piezas.
- Protección contra el fuego de las estructuras.
- Caminos interiores.

En el capítulo Obras civiles se indican los aspectos indicados en la tabla anterior. Allí se encuentran las medidas tenidas en cuenta respecto a higiene y seguridad al momento de definir como se construirán todas las estructuras que comprende la totalidad de la planta.



13.6 Electricidad

Los códigos nacionales y locales para la instalación y diseño incluyen también aspectos eléctricos de seguridad

Consideraciones sobre Electricidad

- Dimensionado de cables.
- Protección frente a fallos.
- Puesta a tierra.
- Protección de los cables contra el fuego.
- Generación de energía de emergencia.

La instalación eléctrica, equipos y conexiones de la planta de producción de Dimetildiclorosilano se encuentran detallados en el capítulo correspondiente a Instalaciones Eléctricas. Allí se encuentran las medidas tenidas en cuenta en lo que respecta a la higiene y seguridad de la planta al momento de hacer este tipo de instalaciones.

13.6.1 Protección contra incendios

Toda planta de proceso debe tener un sistema adecuado de protección contra incendios. No obstante, la intensidad de protección debe estar controlada según los procesos y los materiales que se usen.

Consideraciones sobre Protección contra incendios

- Sistemas de agua contra incendios.
- Sistemas de agua de reserva.
- Mangueras, hidrantes y monitores contra incendios.
- Extintores contra incendios.
- Alarmas de incendio.

La protección contra incendios es una tarea interdisciplinaria que contempla todas las áreas de diseño, comprende tanto factores técnicos como humanos, y es responsabilidad del director de proyecto (especialista en higiene y seguridad) asegurarse de que dicha protección este contemplada en el diseño y posteriormente en la práctica.



13.7 Seguridad en la construcción de la planta

La etapa de construcción de instalaciones es aquella en que se materializan los proyectos procedentes de la etapa de diseño.

Esta etapa será ejecutada por una empresa, ajena a la propia empresa industrial, contratada a tal fin. Esto proporciona características particulares a la consideración de la seguridad en la construcción de las instalaciones.

La seguridad en la construcción tendrá dos vertientes a considerar por separado:

13.7.1 Seguridad en los propios trabajos de construcción

La dispersión de mandos y responsabilidades que se deriva de la actuación de la empresa contratista dentro del ámbito de la empresa propietaria obliga a una coordinación adecuada de información, actuación y mando; esto incluye:

- Notificación de los procedimientos de seguridad en la construcción a los contratistas.
- Emisión y control de permisos para la ejecución de trabajos de cierta peligrosidad.
- Nombramiento de uno o varios supervisores de seguridad con atribuciones para emitir y controlar los permisos, así como para detener los trabajos en caso oportuno y hasta que se adopten las medidas de seguridad pertinentes.
- Aseguramiento eficiente y fehaciente por los contratistas sobre los riesgos de accidente y de daños a terceros.
- Consideración de todos los riesgos derivados de los propios trabajos y del entorno en que se llevan a cabo los mismos.

13.7.2 Seguridad y control de calidad en la construcción

La calidad de la obra ejecutada y la fidelidad a un diseño correcto influyen de manera importante en la seguridad de la operación y mantenimiento futuro de las instalaciones. Ello hace que un control cuidadoso de dicha calidad sea un complemento imprescindible a un proyecto bien hecho.



13.8 Seguridad en la puesta en marcha

El proceso de puesta en marcha de la planta es peligroso debido a que se trata de una planta recién construida. En este punto todo el equipo es nuevo. Puede ser que durante el diseño no se hayan descubierto errores o materiales inadecuados. Además, los operarios no estarán aún familiarizados con la distribución en planta y la operación de esta.

Por estas razones es que las pruebas y la puesta en marcha definitiva serán llevados adelante en pasos lentos. Cada parte del sistema será probado independientemente. Después de que todos los sistemas han sido comprobados detalladamente utilizando fluidos no peligrosos y la planta esté en una situación no peligrosa, entonces, y sólo entonces, se introducirán los materiales peligrosos lentamente y de forma secuencial en la planta.

Antes de llevar a cabo esta etapa, para asegurar que se han tomado todas las precauciones debidas durante el diseño y la construcción, el especialista en higiene y seguridad realizará un *check list* (chequeo general) de todos los sectores de la planta.

13.9 Seguridad en la operación

La seguridad en la operación constituye una continuidad de la seguridad en el diseño; ya que la probabilidad de que un incidente peligroso ocurra no depende únicamente de las características técnicas del proceso y de los controles de seguridad, sino también de aspectos operativos y organizativos del control de riesgos tales como son las actitudes de los mandos y de los operarios, de los errores humanos, de un mantenimiento inadecuado, del conocimiento y comprensión escasos por los operarios.

13.10 Seguridad en el mantenimiento

Todo lo que se ha definido hasta el momento, llevado a cabo con eficiencia del 100%, llevaría a una cobertura preventiva importante si las instalaciones mantuvieran indefinidamente el estado en que iniciaron su actividad.

Debido a las agresiones (desgastes, corrosiones, envejecimientos) que sufren diferentes partes de la instalación por su uso y por la acción de factores internos y externos, se pueden producir averías que originan condiciones inseguras. Por ello es evidente que el



mantenimiento eficaz contribuye a la seguridad de instalaciones y operaciones de manera importante.

En nuestra planta, se implementarán dos tipos de mantenimiento, los cuales son complementarios entre sí; estos son:

- **Mantenimiento correctivo.** Intervención correctora de las averías con rapidez, eficiencia y precauciones (seguridad en la propia acción correctora). Para este tipo de mantenimiento es que se dispondrá de una cantidad determinada estadísticamente de repuestos en existencia.
- **Mantenimiento preventivo.** Se efectuarán inspecciones periódicas de todos los elementos de las instalaciones, con frecuencias mínimas o ajustadas a los análisis estadísticos de averías, con el fin de que la reparación o sustitución de aquéllos se efectúe antes de que la avería se declare. Cuando la avería pueda llegar a tener consecuencias serias para la seguridad, el mantenimiento preventivo será obligatorio.

El mantenimiento de la planta estará a cargo de personal especializado en el tema según lo establecido en el capítulo de Organización de la empresa.

13.11 Seguridad en prevención, defensa y actuación

Debido a causas imprevisibles o de fuerza mayor, y a no efectuarse la prevención con una eficiencia de 100%, debe aceptarse que el riesgo pueda manifestarse en forma de incidentes, accidentes o siniestros.

Si bien hasta aquí se han considerado, en cada sector de la planta en particular, una amplia cantidad de medidas necesarias para evitar diversos tipos de riesgos; cumpliendo con todas las condiciones impuestas por la ley vigente. Lo realizado no quedaría completo sin el agregado de lo que a continuación se desarrolla; esto es prevención, defensa y actuación frente a siniestros, en particular frente al fuego, lo que es de destacar debido a las características del proceso productivo (equipos y sustancias).



13.12 Orden y limpieza

El mantenimiento técnico de las instalaciones se debe complementar con la limpieza general de la planta, la que estará a cargo de personal de limpieza.

Además de los trabajos de limpieza general, se instruirá a cada empleado sobre la responsabilidad que cabe a cada uno sobre el mantenimiento del orden y la limpieza en su puesto de trabajo; esta capacitación estará comprendida dentro de la capacitación de personal sobre seguridad e higiene que se detalla luego.

13.13 Señalización

La señalización adecuada en los diversos ambientes de trabajo es fundamental tanto para mejorar las condiciones laborales, así como para actuar en forma rápida, organizada y eficaz frente a una situación de riesgo.

El realizar una campaña de señalización en la empresa, no elimina riesgos, sino que es un complemento que tiende a evitar o reducir la cantidad de accidentes.

Al respecto, la legislación establece las señales que deben estar presentes en la industria.

Las señales, pueden ser ópticas, acústicas, olfativas o táctiles. Las ópticas son aquellas que resultan de la combinación de una forma geométrica, un color y un símbolo o pictograma, atribuyéndoseles un significado determinado. Cada color y forma posee un significado propio a fin de que las distintas personas puedan identificarlas, y son estas las principales señales que se utilizarán en la planta.

Los cuadros siguientes muestran las señales que se pueden llegar a visualizar en la planta industrial y lo que representa cada una de estas señales.



Tabla 85: Señalizaciones de información

Señales de información	
Proporciona información necesaria para realizar una tarea determinada y para informar los peligros que pueden existir en un determinado lugar de trabajo.	
Señal y su respectivo significado	
	
Botiquín: esta señal informa donde está situado el botiquín por si se sufre algún tipo de lesión, que debe estar completo para poder curar lesiones de poca gravedad.	
	
Flecha abajo: esta señal indica las posibles salidas de socorro; pueden estar situadas en cualquier lugar de la fábrica y en cualquier dirección.	
	
Salida: Esta señal indica cual es la salida de emergencia o socorro.	



Tabla 86: Señalizaciones de advertencia

Señales de advertencia	
Indican algún peligro que se puede tener o algo que puede ocurrir si no se va con precaución; advierten de algún peligro.	
Señal y su respectivo significado	
	Alta tensión: esta señal indica que existe riesgo de que pase por el cuerpo una tensión muy elevada y genere como consecuencia la muerte.
	Atención: esta señal indica manejarse con precaución porque existe algún tipo de riesgo; sin embargo no especifica el riesgo a que se está expuesto.
	Vehículo industrial: esta señal indica la presencia de algún vehículo industrial en el lugar en que se está.
	Riesgo tóxico: esta señal indica la presencia de sustancias tóxicas en el ambiente laboral



Riesgo cáustico: esta señal indica la presencia de sustancias corrosivas en el ambiente laboral.



Riesgo de incendio: esta señal indica que puede provocarse un incendio muy fácilmente.



Riesgo de explosión: esta señal indica que puede provocarse una explosión muy fácilmente.



Riesgo eléctrico: esta señal indica que en lugar hay corriente eléctrica, y por lo tanto, peligro de descarga.



Tabla 87: Señalizaciones de prohibición

Señales de prohibición	
Indican aquellas cosas que no se pueden realizar, que están prohibidas. Estas señales tienen especial importancia ya que impiden el acceso o la realización de algún acto en un lugar para que no se corran riesgos.	
Señal y su respectivo significado	
 	Prohibido apagar con agua: esta señal indica que no se puede apagar el fuego con agua, ya que podría producirse algún daño humano o material.
 	Prohibido beber agua: esta señal indica que no se puede beber agua, ya que podría estar contaminada, pudiendo ser apta para uso industrial pero no humano.
 	Prohibido el paso de peatones: esta señal indica que está prohibido el paso de peatones por la zona, ya que se corren riesgos de algún accidente.



**PROHIBIDO
FUMAR**

Prohibido fumar: esta señal indica que está prohibido fumar en el lugar, ya que el fumar puede generar un siniestro.



**PROHIBIDO
FUMAR Y
ENCENDER FUEGO**

Prohibido fumar y encender fuego: esta señal indica que además de estar prohibido fumar en el lugar, también está prohibido hacer fuego, ya que ambos pueden generar un siniestro, y como consecuencia daños irreparables.



**ALTO
SOLO PERSONAL
AUTORIZADO**

Prohibido el acceso sin autorización: esta señal indica que no se puede acceder a la zona, y que el ingreso está restringido para la entrada solo de personal autorizado.



Tabla 88: Señalizaciones de obligación

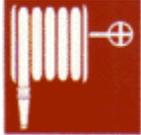
Señales de obligación	
Proporciona información acerca de lo que se debe cumplir en forma obligatoria en el lugar de trabajo o en un lugar específico.	
Señal y su respectivo significado	
	Uso de calzado de seguridad: esta señal informa que es obligatorio llevar el calzado apropiado para el lugar.
	Uso de casco: esta señal informa que es obligatorio llevar casco.
	Uso de guantes: esta señal informa que es obligatorio el uso de guantes.
	Uso de protección contra caídas: esta señal informa que es obligatorio llevar algo que haga de protección contra caídas de gran altura.
	Uso de protección del cuerpo: esta señal informa que es obligatorio el uso de un



mono para trabajar.	
 	
Uso de protección de oídos: esta señal informa que es obligatorio el uso de alguna protección auditiva.	
 	
Uso de protección de la vista: esta señal informa que es obligatorio el uso gafas para protección de los ojos.	
 	
Uso de protección facial: esta señal informa que es obligatorio el uso máscara para la cara.	
 	
Vía obligatoria para peatones: esta señal indica que el lugar en el que se está o se va a transitar es exclusivo para peatones y que ningún tipo de transporte puede circular por el mismo.	



Tabla 89: Señalizaciones de lucha contra incendios

Señales de lucha contra incendios	
Proporciona información sobre elementos de lucha contra incendios.	
Señal y su respectivo significado	
 BOCA DE INCENDIO	Boca de incendio: esta señal indica donde está situada la boca de incendio más próxima.
 EXTINTOR	Extintor: esta señal indica donde está ubicado el extintor más próximo; la flecha indica que el extintor se encuentra debajo de ella.

Deberán también demarcarse las zonas de proceso con franjas de color amarillo que indiquen dirección y sentido de circulación en pasillos y caminos. Así también, las zonas de circulación de operarios, transportadores y equipos de emergencia. Es menester destacar en todos los casos los cruces, desviaciones u obstáculos donde puedan encontrarse elementos de transporte, contarán con indicación del peligro mediante franjas anchas de color amarillo.

El pintado de cañerías cumplirá con los requisitos establecidos en la Norma IRAM 2507.



Pintado de Cañerías (Norma IRAM 2507)			
COLOR	IRAM		SIGNIFICADO
Naranja Internacional	02-1-040		Vapor de agua
Verde Claro	01-1-120		Agua fría
Amarillo	05-1-020		Combustibles líquidos y gases
Bermellón	03-1-080		Elementos de protección anticorrosivos
Gris Industrial	09-1-060		Productos inofensivos
Castaño	07-1-120		Vacío
Azul Industrial	08-1-070		Aire comprimido
Negro	11-1-060		Electricidad
Verde Claro con franjas Naranja Internacional			Agua caliente
Gris Industrial con franjas Naranja Internacional			Productos peligrosos

Figura 1: Señalización de cañerías

Otro tipo de señalización implementada para la seguridad de los empleados, en este caso de carácter temporal, serán las *Tarjetas de Seguridad*. Dichas tarjetas son cartones troquelados divididos en tres partes: una que se pone en un lugar visible del equipo que se está reparando, otra que la retiene el solicitante y la tercera que se coloca en el tablero principal. Con esta última se obtiene la habilitación de la máquina intervenida, por lo que esta tarjeta es la indicadora del peligro, ya que la presencia de la tarjeta ubicada en cualquier circuito o mecanismo (válvulas, interruptores, botoneras, etc.) indica que el equipo no debe ser operado bajo ningún concepto.

Si un mismo equipo o máquina está siendo atendida por varios sectores de la planta, cada uno de ellos colocará su propia *Tarjeta de Seguridad*.

Las tarjetas estarán a disposición de los solicitantes en las oficinas de mantenimiento y en la oficina de higiene y seguridad, esta última también será la responsable de generar nuevas tarjetas.

A continuación, se muestran modelos típicos de tarjetas de seguridad.



Figura 2: Modelos típicos de tarjetas de seguridad

13.14 Protección colectiva

La protección colectiva la constituyen todas las medidas de protección pasiva consideradas en las diversas áreas; aquí a modo de resumen, se detallarán los equipos y agentes extintores existentes en la planta.

El tipo de equipo a utilizar dependerá del tipo de fuego que se pueda llegar a generar de acuerdo a las sustancias manipuladas.



Tabla 90: Tipos de extintores

Equipo protector y campo de aplicación
 <p>Matafuego manual.</p>
 <p>Matafuego manual y rodante.</p>
 <p>Matafuego móvil.</p>



En la figura a continuación, se muestra la forma correcta de instalar un matafuego. Se deben colocar en lugares visibles, con fácil acceso, de forma que se puedan tomar rápidamente en caso de incendio.

Se debe evitar lugares oscuros de dificultosa visualización.

Por general los matafuegos son instalados sobre una pared o columna a través de un soporte fijado a la misma sobre el cual se cuelga el equipo. Detrás del matafuego se deberá emplazar la correspondiente chapa baliza, que sirve para indicar la ubicación de este y las clases de fuego para los cuales son apto.

El equipo debe estar instalado de tal forma que la placa de accionamiento de la válvula quede a 1,70 metros del piso; en el mismo deberá pintarse una bandada de color rojo de 5 cm de ancho, dejando 20 cm a cada lado del matafuego y extendiéndola hasta 50 cm de pared. Además, se colocarán carteles indicadores por sobre la chapa baliza a una altura tal que sea advertido a la distancia y por sobre los objetos circundantes que pueden obstaculizar la visual del equipo.

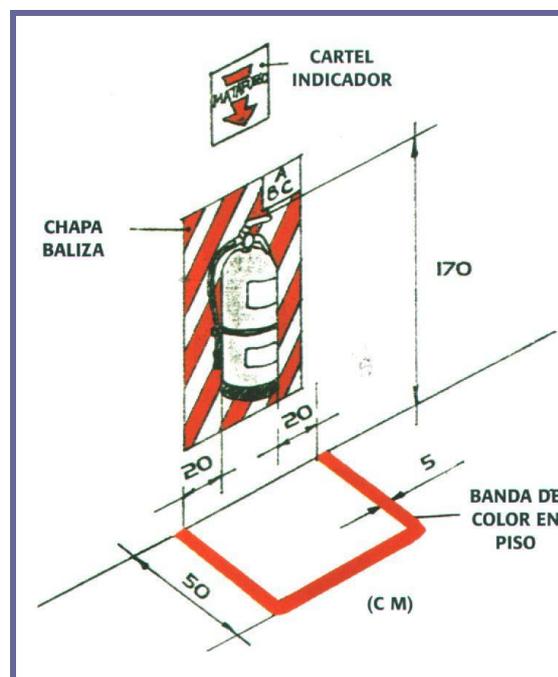


Figura 3: Forma correcta de instalar un extintor



13.15 Protección individual

En las plantas industriales, no es suficiente la protección colectiva, además cada trabajador debe constar de una protección personal que sea inherente a la tarea específica que realiza. El equipo adecuado será aquel que brinde la mejor protección en cada caso y que resulte de mayor comodidad.

Se respetará lo que establece la legislación en relación a la protección personal de los trabajadores.

Es importante recordar que los elementos de protección personal no eliminan los riesgos, solo los minimizan, teniendo cada elemento limitaciones de uso. Y que dichos elementos, no son intercambiables con los demás trabajadores de la planta. Además, se debe limpiar y desinfectar el equipo, inspeccionarlo periódicamente, y almacenarlo en forma adecuada.

La función básica de un equipo de protección personal es la de establecer una barrera entre el usuario del equipo y el producto agresivo. La elección de la protección estará determinada por la peligrosidad del agente, el tiempo de exposición, el nivel de contacto.

Los cuadros siguientes muestran, según la zona del cuerpo a proteger, el equipo de protección que será utilizado por el trabajador; luego se resumen cuáles de ellos llevará cada empleado según el puesto de trabajo. La norma IRAM que establece las características de cada elemento de protección personal dependerá no solo del elemento de protección específico, sino también de las características apropiadas que se requieran para cada trabajador en particular.



Tabla 91: Protección corporal

Protección corporal
Elemento protector y campo de aplicación
<p>La ropa de trabajo utilizada tendrá las siguientes características:</p> <p>Será de tela flexible, permitiendo una fácil y rápida limpieza y desinfección de la misma en forma adecuada a las condiciones del puesto de trabajo.</p> <p>Ajustará bien al cuerpo del trabajador, sin perjuicio de su comodidad y facilidad de movimientos.</p> <p>Siempre que las circunstancias lo permitan las mangas serán largas y ajustarán adecuadamente.</p> <p>Se eliminarán o reducirán en lo posible elementos adicionales como bolsillos, bocamangas, botones, partes vueltas hacia arriba, y cordones; por razones higiénicas y para evitar enganches.</p> <p>Se prohibirá el uso de elementos que puedan originar un riesgo adicional, como ser: corbatas, bufandas, tirantes, pulseras, cadenas, collares, anillos.</p> <p>En ocasiones especiales la ropa de trabajo será de tela impermeable, incombustible, de abrigo resistente a sustancias agresivas; y siempre que sea necesario, se dotará al trabajador de delantales, mandiles, petos, chalecos, fajas, cinturones anchos y otros elementos que puedan ser necesarios.</p>



Tabla 92: Protección craneana

Protección craneana	
Elemento protector y campo de aplicación	
	
<p>El casco de seguridad se utilizará siempre que las condiciones de trabajo obliguen a ello por la existencia de riesgo de caída del operario o de materiales sobre él o contacto eléctrico. Su uso es personal y obligatorio y se cambiará al sufrir algún impacto violento. Con el casco de seguridad el trabajador se protege de:</p>	
<ul style="list-style-type: none">• Caídas de objetos.• Golpes en la cabeza.• Proyección violenta de objetos.• Contactos eléctricos.	



Tabla 93: Protección ocular y/o facial

Protección ocular y/o facial	
Elemento protector y campo de aplicación	
	
<p>Cuando haya riesgo para los ojos, por proyecciones o salpicaduras, es obligatorio el uso de gafas o pantallas de seguridad adecuadas. La protección y revisión de los ojos son primordiales para disminuir los accidentes laborales fundamentalmente en el uso de máquinas y herramientas, líquidos y equipos de aire comprimido y soldadura. Por lo tanto, se debe utilizar protección ocular o facial si está expuesto a:</p> <ul style="list-style-type: none">• Proyección de partículas sólidas y/o líquidos.• Exposición a radiaciones nocivas (soldadura oxiacetilénica o eléctrica, etc.).• Exposición a atmósferas contaminadas. <p>Tipos de protectores:</p> <ul style="list-style-type: none">• Anteojos de seguridad.• Antiparras.• Protectores faciales. <p>Protectores oculares y/o faciales para trabajos de soldadura y corte con sus cristales filtrantes específicos y cubiertas completas o capuchones.</p>	



Tabla 94: Protección respiratoria

Protección respiratoria
Elemento protector y campo de aplicación

<p>Se debe utilizar protección respiratoria cuando la concentración de polvo, de diferentes gases y/o vapores presentes en el aire superen los valores estipulados en la legislación vigente. Su elección dependerá del tipo de contaminante, el tiempo de exposición y las características del trabajo a realizar. Así tendremos que emplear un filtro de retención (para partículas sólidas), de retención química (material gaseoso y vapores) o uno de retención combinada. De acuerdo al grado de protección requerido utilizaremos barbijos, semi máscaras, máscaras o equipos autónomos.</p> <p>En todos los casos asegúrese que, la máscara se adapte bien a su rostro (no use barba); los elementos o cartuchos filtrantes se encuentren en buen estado y hayan sido inspeccionados regularmente.</p> <p>Se puede hacer una clasificación de la siguiente manera.</p> <p>Dependientes del medio ambiente:</p> <ul style="list-style-type: none">• Barbijos.• Respiradores.• Mascara facial. <p>Independientes del medio ambiente:</p> <ul style="list-style-type: none">• Equipo autónomo portátil (utilizan filtros) de circuito cerrado o de circuito abierto.• Equipo de succión (suministra aire) pulmonar o forzado.• Equipo de aire comprimido provenientes de cilindro o provenientes de compresor.



Tabla 95: Protección de pies

Protección de pies
Elemento protector y campo de aplicación

<p>Los zapatos de seguridad son de uso obligatorio. Ellos protegen de:</p> <ul style="list-style-type: none">Caída de elementos pesados y objetos punzantes.Pinchaduras.Cables o conexiones eléctricas expuestas.Manipulación de productos químicos o hidrocarburos. <p>Nunca utilice zapatillas o sandalias.</p> <p>Tipos:</p> <ul style="list-style-type: none">Zapatos.Botines.Botas de seguridad (con puntera y/o suela de acero). <p>Para el caso de los electricistas, sólo en el caso de trabajar bajo tensión, zapatos dieléctricos (sin puntera y/o suela de acero ni hojalillos de acero). Si no se trabaja bajo tensión eléctrica, se recomienda utilizar los descritos en el punto anterior, ya que los riesgos enunciados más arriba pesan más que un peligro de electrocución.</p> <p>Los pantalones y mamelucos no deben ser largos ni poseer botamangas.</p> <p>No guarde en sus bolsillos herramientas con punta: utilice siempre el portaherramientas y guarde las herramientas con las puntas hacia abajo.</p> <p>Use polainas de cuero cuando deba trabajar con motosierras o guadañas, estas herramientas pueden afectar sus miembros inferiores.</p>



Tabla 96: Protección de manos y brazos

Protección de manos y brazos
Elemento protector y campo de aplicación
 <p>Se deben utilizar guantes de seguridad de acuerdo al tipo de tarea que se vaya a emprender.</p> <p>Se los debe utilizar cuando se esté expuesto a peligros tales como:</p> <ul style="list-style-type: none">• Contacto con sustancias peligrosas.• Cortes y raspaduras severas.• Quemaduras químicas o térmicas.• Trabajar con circuitos eléctricos o cerca de ellos (en éste caso los guantes deben ser dieléctricos). <p>Además, tener en cuenta que:</p> <ul style="list-style-type: none">• Se debe mantener las manos alejadas de cualquier carga en movimiento.• Nunca atar el cable guía de una carga al cuerpo o a las manos.• Si está trabajando con máquinas-herramientas no utilice anillos ni pulseras.• Para clavar un elemento a golpes de maza, sostener a éste con alguna pinza o soporte para no golpearse las manos.



Tabla 97: Protección auditiva

Protección auditiva	
Elemento protector y campo de aplicación	
	
<p>Si se llevan a cabo operaciones que generan un nivel de ruido elevado es necesario hacer uso de protecciones auditivas. Usarlas correctamente rebaja el nivel de ruido que llega al oído y consiguientemente el nivel del riesgo de lesión. Para que resulten eficaces, los protectores auditivos deben ser llevados durante todo el tiempo que dure la exposición. Deben ser utilizados si el nivel sonoro equivalente supera los 85 dBA o por ejemplo, si una persona que está a menos de 1 metro no lo escucha por el nivel de ruido existente.</p> <p>Tipos más comunes de protección auditiva:</p> <ul style="list-style-type: none">• Insertores: Se insertan dentro del conducto auditivo externo. Su nivel de atenuación oscila en el rango de los 25 db.• Cobertores o de Copa: Cubren todo el pabellón de oído y la zona ósea. El nivel de atenuación es de hasta 45 db.• Desechables: Son aquellos que duran solo una jornada de trabajo y luego de usarlo se tiran. Se fabrican de lana, algodón, cera, etc.	



Tabla 98: Protección en altura

Elemento protector y campo de aplicación
 <p>Se debe utilizar cinturón o arnés de seguridad cuando se trabaje en techos, azoteas y en todo lugar que no cuenten con barandas perimetrales, cuando se realice tareas en andamios, durante el montaje y desmontaje de éstos, cuando se trabaje en armaduras de acero en altura, o en silletas y cuando se efectúe todo tipo de tareas por encima de 1,8 m sin baranda de protección. También cuando el jefe del Servicio de Higiene y Seguridad, el empleador o la ART lo consideren necesario.</p> <p>El sistema anti caída debe ser amarrado a un elemento resistente, revisándose frecuentemente el elemento de amarre y el mosquetón. No se deberá iniciar el trabajo sin este requisito.</p>

13.16 Selección y capacitación

Con el propósito de complementar las medidas técnicas implementadas en la empresa y con el fin de que las normas de uso interno sean aplicadas en forma correcta, es que la empresa seleccionará los empleados de acuerdo a sus aptitudes físicas y psíquicas y desarrollará programas de capacitación para adiestrar a todo el personal sobre lo concerniente a higiene y seguridad en los puestos de trabajo y en la planta en general.

Por lo tanto, la *selección e ingreso de personal* la efectuarán en forma conjunta y coordinada el departamento de higiene y seguridad, los servicios de medicina y otras dependencias relacionadas. Esto se hará teniendo en relación con los riesgos de las respectivas tareas, operaciones y manualidades profesionales.



Al respecto, es de incumbencia del servicio de medicina, lo detallado en el siguiente punto determinando de tal modo la aptitud de un empleado en relación a la tarea a desempeñar.

En cuanto a la *capacitación del personal*, se lo adiestrará como se dijo anteriormente, basándose en material educativo gráfico, medios audiovisuales, avisos y carteles. Dicho adiestramiento se concretará en:

- Cursillos teóricos:
 - a. Operaciones.
 - b. Seguridad general.
 - c. Defensa contra incendios (prevención y extinción).
 - d. Primeros auxilios.
 - e. Planes de emergencia.
 - f. Mantenimiento.

- Entrenamiento práctico:
 - a. Ejercicios de extinción contra el fuego.
 - b. Simulacros de emergencia.
 - c. Simulacros de primeros auxilios.

Las jornadas de capacitación se realizarán en todos los niveles jerárquicos de la empresa.

La empresa hará acuerdos con la compañía de seguros, para que sea esta quien través de medios y personas puestos a tal disposición, sea la encargada de impartir los cursillos y el entrenamiento relativos a la seguridad.

13.17 Servicio de medicina laboral

La Ley N° 19587 impone a los empleadores y a los trabajadores en general, la obligación de cumplir con la normativa vigente sobre higiene y seguridad en el trabajo. En lo



que respecta a servicio de medicina, se respetará lo establecido en los artículos correspondientes, a saber:

- Servicio de medicina.
- Exámenes médicos.
- Responsabilidad de asesoramiento (higiene y seguridad en los ambientes laborales).

La peligrosidad de las sustancias que se manipulan en el proceso de producción de Dimetildiclorosilano, hace que sea indispensable contar con un *Servicio de Medicina Laboral Interno*, el cual garantiza las prestaciones mínimas y permite una acción inmediata en caso de emergencias y accidentes.

El servicio será desarrollado por profesionales médicos contratados por la empresa o en centros habilitados por la autoridad sanitaria. Dichos profesionales deberán cumplir con los requisitos de la especialidad laboral, además deberán justificar su condición con el registro que los habilita.

La empresa constará de una sala con un botiquín de primeros auxilios y se capacitará a los trabajadores sobre el manejo de este y cómo reaccionar ante los posibles accidentes relacionados con las sustancias que se manejan en la industria, además se dispondrá de un botiquín en cada sector de la planta. Para accidentes de mayor envergadura la empresa recurrirá al servicio de una prestación médica externa.

13.18 Parada de planta

Frente a una emergencia puede llegar a ser necesaria la parada de planta. Para llevar a cabo este propósito es que todos los equipos de la planta tendrán dispositivos automáticos que aseguren la interrupción del suministro de fluido cuando se produzca alguna anomalía, la planta completa cesa su actividad en caso de que se inicie un incendio.

13.19 Procedimiento de extinción

Al descubrirse un incendio se procederá del siguiente modo y en el orden que se establece:

1. Ubicar el foco del incendio.



2. Alejar materiales explosivos, inflamables o combustibles del lugar del incendio.
3. Determinar qué material se quema para apagar el fuego con los elementos apropiados.
4. Establecer la proporción del incendio para disponer la cantidad de elementos necesarios.
5. Pedir colaboración si ello fuera necesario.

Al atacar el fuego se debe:

- a) Cortar la corriente eléctrica en el sector.
- b) Cortar toda corriente de aire en caso de ser posible.
- c) Atacar el fuego lo más cerca posible, con viento a favor de modo de aprovechar al máximo la capacidad del elemento extintor.
- d) Desde la menor distancia posible, dirigir el chorro sobre la base del fuego y no al centro, barriendo en zig-zag y en lo posible alrededor del incendio para atacarlo por todos los costados.
- e) Circunscribir el fuego para evitar su propagación.
- f) Utilizar el material indispensable con el máximo rendimiento, teniendo en cuenta que cada extintor o boca de incendio abastece a una zona que no debe quedar desprotegida en ningún momento, salvo que sea por una razón bien justificada.
- g) Actuar siempre con celeridad y serenidad.

El personal de la empresa estará debidamente capacitado para reaccionar ante casos de incendio. Estarán divididos en brigadas y trabajarán como equipo en el momento oportuno. Las personas mejores capacitadas serán las que deban actuar en el momento del incendio. Las demás estarán en condiciones de aprender las maniobras cuando las cargas de los matafuegos estén a punto de vencer, momento en que aprovechará para realizar simulacros.



13.20 Plan de emergencia y evacuación

Existirá en la planta un plan de emergencia de conocimiento general por la totalidad del personal. Dicho plan será llevado a cabo en caso de ocurrencia de una emergencia.

En caso de una eventualidad tal, se deberá llamar desde cualquier teléfono de planta habilitado para tal fin, citando la emergencia observada, lugar y nombre de quien habla. Los teléfonos estarán conectados con el departamento de higiene y seguridad, cuyos miembros deberán brindar rápidamente la asistencia necesaria; además desde estos teléfonos se pueden realizar llamadas de emergencia al exterior.

Ante tales circunstancias las personas deberán resguardarse en lugares seguros y a la espera de instrucciones. En ningún caso deberán acercarse al lugar del siniestro. Cuando las personas presentes en el predio escuchen *tres toques prolongados de sirena*, que indican evacuación total, deberán dirigirse a la salida de emergencia más alejada del sector del siniestro.

Para llevar a cabo la evacuación se dispondrá de un *plan de evacuación*, también de conocimiento general. Este plan incluirá lo siguiente:

1. Reconocimiento del sonido de la alarma.
2. Plano indicativo de salidas de principales y secundarias.
3. Designio de las personas encargadas de avisar a los bomberos.
4. Abandono total de las actividades y salida del recinto en forma segura, rápida y en silencio.
5. Punto establecido de reunión fuera del edificio.
6. Método para verificar si quedan personas en el interior del edificio.

Se dispondrá de un plan alternativo, para el caso en que no se pudiera cumplir con el plan original.

Tanto para el cumplimiento del plan original como del alternativo, se llevarán a cabo simulacros de evacuación (incluidos en la capacitación de personal), de forma tal de asegurarse que el personal sepa cómo lograr una buena evacuación, ordenada y eficaz, cuando las circunstancias así lo requieran.



13.21 Sistema de alarma

La planta estará equipada con un sistema de alarma contra incendio compuesto de los elementos que se muestran a continuación.

Tabla 99: Sistema de alarma

Sistema de alarma
Equipo y campo de aplicación
 <p>Alarma contra incendios: conectada a un grupo electrógeno de modo que quede asegurado su funcionamiento.</p>
 <p>Sistema de aspersión automática de agua.</p>
 <p>Detectores de humo: ubicados en los recintos cerrados de la planta; activan la alarma contra incendios.</p>

13.22 Seguridad medioambiental

Todas las actividades que desarrolla el ser humano generan un impacto sobre el ambiente externo a la planta, este efecto debe ser minimizado para cumplir con la



legislación en vigencia, para evitar pérdidas económicas, para evitar perjuicios a la comunidad, y, por supuesto, para preservar el medio ambiente.

Estos objetivos formarán parte de cada toma de decisión de carácter preventivo, comprometiendo los esfuerzos de la empresa hacia una rápida solución ante cualquier desviación que se produzca.

En lo que se refiere a desagües industriales, se cumplirá lo establecido en la legislación vigente.

13.23 Política medioambiental

Los impactos ambientales significativos que puedan ocasionar las tareas desarrolladas por la empresa y su personal irán acompañados de las respectivas medidas encargadas de remediar dichos impactos.

Con respecto a la generación, manipulación y almacenamiento de residuos, se considera que es responsabilidad de todo el personal de la empresa de la limpieza y traslado de los mismos hasta el sector asignado.

13.23.1 Residuos sólidos

Con respecto a los residuos sólidos, el objetivo de la empresa es minimizar la generación de residuos en origen, en cantidad y tipología, mediante un sistema participativo, buscando la mejor relación costo-beneficio-medio ambiente.

Los residuos sólidos se clasifican en:

- **Recuperables:** se consideran a los cartones limpios, papeles limpios, papel de oficina, bidones de todo tipo limpios, metales varios, plásticos, latas, vidrios, etc. Todos ellos son otorgados a una empresa de reciclaje.
- **Residuos asimilables a urbanos:** se pueden encontrar restos de comida con o sin envoltorio, cartones sucios, cintas de embalaje, sobres de azúcar, etc. Los residuos asimilables a urbanos generados por la actividad diaria serán depositados en contenedores dispuestos para ese fin en distintos sectores de la planta y edificios. En el caso de que se genere



chatarra, esta será retirada a un sector alejado de la planta para ser recogido periódicamente por una empresa contratista.

- **Residuos especiales o peligrosos:** diluyentes sucios, aceites usados, aceites lubricantes, productos químicos, gasoil, restos de pintura, grasas industriales, pilas, pinceles, guantes y demás herramientas con grasas o pinturas, drogas de laboratorio, etc. Los residuos especiales o peligrosos deben ser llevados a un sector alejado e identificados con un cartel que indique *residuos especiales*. No se deben mezclar con las chatarras.

13.23.2 Efluentes líquidos

Además de los efluentes líquidos generados por el proceso de producción, los cuales son considerados en el capítulo correspondiente a Tratamiento de Efluentes, en la planta son generados diversos efluentes líquidos a considerar, los cuales se clasifican en:

- **Efluentes domésticos y cloacales:** son generados por las instalaciones utilizadas por el personal de la planta, esto es: instalaciones sanitarias (duchas, mingitorios, inodoros, piletas), instalaciones de uso doméstico (lavavajillas, bebederos) e instalaciones de emergencia (duchas de emergencia, lavaojos, piletas de emergencia). Los efluentes líquidos domésticos y cloacales serán enviados directamente a la colectora cloacal del propio parque industrial para su tratamiento, por lo que no se prevé la instalación de una planta de tratamiento para dichos efluentes.

- **Efluentes pluviales:** se generan por la precipitación de agua de lluvia que escurre por techos y pisos de patios. Dadas sus características no es necesario su tratamiento, por lo que será conducida por canales de techo y conductos de bajada hasta terreno absorbente.

13.23.3 Emisiones gaseosas

Los efluentes gaseosos generados por el proceso de producción son considerados en el capítulo correspondiente a Tratamiento de Efluentes.



13.24 Datasheet's

En el Anexo II, al final de este proyecto, se muestran las planillas de datos de todas las sustancias manipuladas en el proceso productivo de Dimetildiclorosilano, ya sea que se trate de materias primas, productos, subproductos, o sustancias de servicio. Dichas planillas son de importancia relevante, ya que en ellas se encuentra gran parte de la información a tener en cuenta para lograr mantener la planta en las condiciones de higiene y seguridad adecuadas.

13.25 Sustancias de proceso

Las sustancias manipuladas en el proceso de producción de Dimetildiclorosilano, por orden alfabético, son:

- Agua
- Cloruro de Metilo
- Dimetildiclorosilano
- Silicio



CAPÍTULO 14

ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA

14.1 Introducción

El objetivo de la organización es formular la estructura adecuada y la posición relativa de las actividades que se habrán de desarrollar. La organización relaciona entre sí las actividades necesarias y dispone quién deberá desempeñarlas.

En este capítulo, en primer lugar, se definirá el tipo de sociedad comercial y luego se determinará la estructura de la organización, los requerimientos de mano de obra y se programará la producción y los turnos de trabajo.

14.2 Tipo de sociedad comercial

Además de dar el marco jurídico a la empresa, el tipo de sociedad elegida surge de las necesidades que nacen del propio crecimiento de la actividad comercial, en cuanto a que cada vez, se hacen más numerosas las actividades y las obligaciones y, al mismo tiempo, aumenta el patrimonio. Se hace necesario disminuir el riesgo de los socios, resguardando su patrimonio, estableciendo los límites de sus obligaciones sociales. Se establecen los requerimientos legales y las necesidades del mercado, según la actividad que se realice, teniendo en cuenta, las obligaciones en cuanto al pago de impuestos y aportes para los empleados. También la situación del mercado, en el caso de necesitar algún tipo de financiamiento.

Los principales parámetros a tener en cuenta, para elegir el tipo de sociedad en el cual encuadrar a la industria son:

- El tamaño de la empresa.
- La responsabilidad asumida por los socios: si es limitada, solidaria o subsidiaria.
- El tipo de impuestos que se deba pagar según el tipo de sociedad.
- Disposiciones legales o reglamentarias, según la actividad que se realice.
- Características del mercado, nacional o internacional, en el que opera la sociedad, que pueden indicar determinadas exigencias societarias.



De acuerdo con las exigencias y necesidades de la empresa, el tipo de sociedad que le dará forma jurídica será la Sociedad Anónima. De hecho, para grandes empresas como lo son las industriales, este tipo de sociedad presenta ciertas ventajas. Entre ellas, pueden mencionarse que es capaz de reunir varios capitales, con las emisiones y ventas de acciones. Es decir, el capital social está representado por acciones y los socios limitan su responsabilidad a la integración del aporte y tenencia de estas, por esta razón el accionista cumple el papel de simple inversor. Además, la duración de la sociedad es independiente de la vida de sus socios o finalización de estos. La administración y la fiscalización son realizadas por organismos nombrados por los socios. Las decisiones están a cargo de la asamblea de accionistas. Necesitan la autorización del Poder Ejecutivo Nacional o Provincial para funcionar como persona jurídica.

La Sociedad Anónima es una simple asociación de capitales de una empresa y las personas que aportan el capital tienen influencia en la constitución, administración, en la asamblea, en la disolución, etc. Constituyen un centro de poder económico, político y social, conducido por un directorio elegido por los accionistas.

Otro tipo de sociedad que tiene algunas características adecuadas para dar el marco jurídico a la empresa hubiera sido la Sociedad de Responsabilidad Limitada. Pero, debido a que por una modificación hecha a mediados de la década del '90, de la ley de las sociedades de responsabilidad limitada, éstas pasaron a atribuir el impuesto a las ganancias, han perdido la ventaja impositiva que tenían sobre las sociedades anónimas, por lo que éstas últimas resultan más ventajosas. La S.A. además ofrece una mayor agilidad en la transmisión de sus acciones, porque no es necesaria su inscripción en el Registro Público de Comercio como sucede con las cuotas de la S.R.L.

14.2.1 Trámites de constitución de la Sociedad Anónima.

Trámites previos: Certificación del Registro Mercantil Central, ingreso del Capital y firma de la Escritura de Constitución de la Sociedad.

Trámites generales: Impuestos sobre transmisiones patrimoniales y actos jurídicos documentados, Solicitud del Código de Identificación Fiscal y Registro Mercantil.



14.2.2 Trámites para la puesta en funcionamiento de la empresa.

- Concesión de licencias: Licencia municipal de obras, Licencia municipal de apertura.
- Registros: Registro Municipal de la propiedad Inmobiliaria, Registro Industrial.
- Trámites en materia fiscal: Impuestos sobre bienes inmuebles, impuestos sobre actividades económicas, declaración censal.
- Trámites en materia laboral: Inscripción de la empresa en la Seguridad Social, Afiliación y número de Seguridad Social, Alta en el Régimen General de Seguridad Social, comunicación de apertura del centro de trabajo, libros de visitas y calendario laboral.

14.2.3 Elección de la forma jurídica de la empresa

La forma jurídica de la empresa será la Sociedad Anónima que posee las siguientes características principales:

- Sociedad de tipo capitalista, en la que el capital, será integrado por los aportes económicos de todos los socios y será dividido en acciones. Los socios no responden personalmente por las deudas de la sociedad.
- La responsabilidad está limitada al capital aportado.
- El decreto legislativo 1564/1989 es el que aprueba el texto de la ley de Sociedades Anónimas.
- El capital social mínimo es de 210.000 pesos, con un desembolso del 25 %.
- La denominación social es libre debiendo figurar obligatoriamente “Sociedad Anónima” o “S.A.”.
- Se constituye por escritura pública, incluyendo los estatutos.
- Es obligatoria la inscripción y publicación de esta en el “Registro Mercantil”.
- Debe cumplir con el régimen fiscal.



14.3 Estructura de la organización

Las organizaciones deben planificar las actividades realizadas por cada una de las partes que la integran para lograr el desarrollo más eficaz de las mismas. Mediante la planificación se harán esquemas y se designarán las funciones del personal para lograr un orden. Para crear la estructura de la empresa las funciones de esta será fijadas antes de designar a los individuos que deban realizarlas. Se agruparán las tareas de acuerdo con sus semejanzas y características para llevar a cabo una coordinación, comunicación y procesamiento de datos adecuados.

14.3.1 Tipo de organización

Se adopta el modelo organización mixta, es decir que reúne las características de una organización lineal y una funcional. Se lo denomina lineal porque mantiene una jerarquía vertical entre superiores y subordinados, reforzando la autoridad y responsabilidad; y funcional, porque proporciona especialización, pero no se permiten las órdenes cruzadas, cada jefe o encargado maneja su departamento o sector, dentro del cual es el único que puede dar órdenes.

14.3.2 Organigrama

El organigrama que se muestra en la Figura 12-1 representa gráficamente la estructura de la organización.

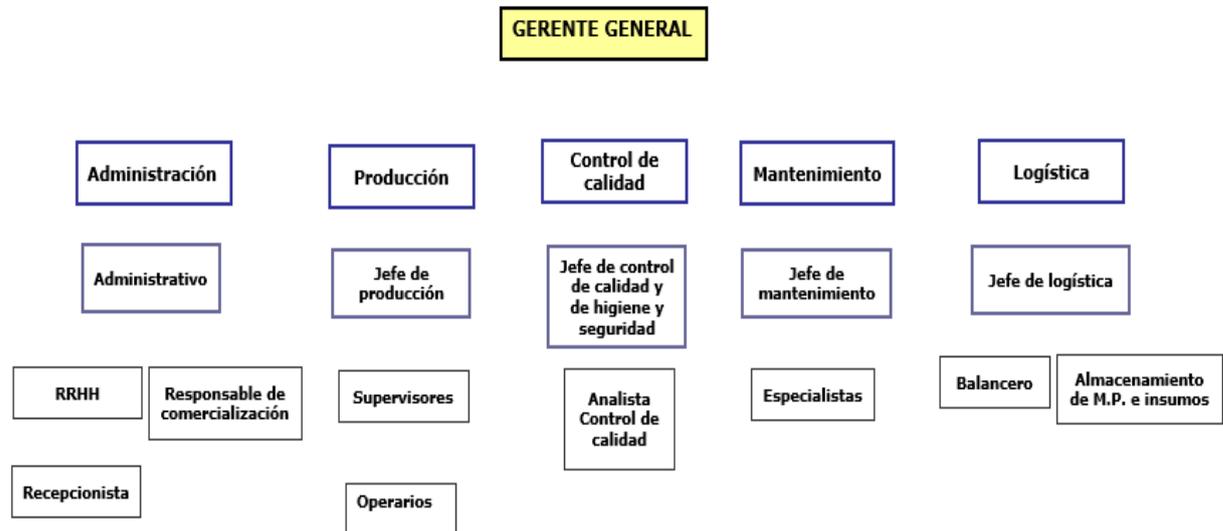


Figura 12-1: Organigrama de la empresa. Fuente: elaboración propia.

14.3.3 Distribución del personal

Una vez establecido el organigrama, se adoptará el perfil necesario para cada uno de los puestos.

Son tercerizados los servicios de asesoría legal, medicina del trabajo, comedor y los de limpieza y desinfección de las instalaciones.

Se propone que los operarios trabajen en varios sectores de la planta para evitar la rutina y desmotivación de estos. También se brindarán incentivos como premios o reconocimientos para lograr que los empleados que trabajen en la empresa se comprometan con la misma y se logre un buen desempeño.

En cuanto a los empleados de la planta se estima que serán necesarias 25 personas trabajando en la misma. Se terceriza el servicio de limpieza y guardias.

14.4 Mano de obra requerida

La empresa cuenta con personal capacitado que es el responsable de cada una de las áreas y con la mano de obra directa necesaria para llevar a cabo cada una de las tareas. La cantidad de empleados, el cargo requerido, su título habilitante y los turnos que deben realizar se presentan en la siguiente tabla:



Tabla 100: Mano de obra requerida

Cargo	Título habilitante	Cantidad	Turnos Lun-Vie	Horario
Gerente general	Ing. Químico Master en administración de negocios.	1	1	8:00-17:30
Administrativo	Administrador de empresa	1	1	8:00-17:30
Recepcionista	Bachiller	1	1	8:00-17:30
Responsable de Comercialización	Administrador de empresa	1	1	8:00-17:30
Jefe de producción	Ingeniero Químico	1	1	8:00-17:30
Supervisores	Técnico Químico	2	1	6:00-14:00 / 14:00-22:00
Operarios	Operarios proceso	4	2	6:00-14:00 / 14:00-22:00
	Caldera (calderistas)	2	1	6:00-14:00 / 14:00-22:00
Jefe de control de calidad y de higiene y seguridad	Ingeniero Químico	1	1	8:00-17:30
Encargado de mantenimiento	Especialista electromecánico	1	1	8:00-17:30
Jefe de logística	Personal capacitado	1	1	8:00-17:30
Almacenamiento de M. P. e insumos	Bachiller	2	1	8:00-17:30
Total		18		

El perfil planteado no es definitivo ni excluyente debido a que puede encontrarse personal con un título distinto para un puesto específico, siempre y cuando sea capaz de realizar las funciones destinadas, las cuales serán planteadas en la sección funciones del personal.



14.4.1 Funciones del personal

Una vez determinada la estructura organizacional de la empresa, de acuerdo a las áreas funcionales de la misma, se detallan las distintas actividades a las que estarán expuestas cada una de las partes señaladas.

- *Gerente General*: Es el responsable máximo; mantiene el correcto funcionamiento de los sistemas y de la empresa en general; representa a la sociedad frente a terceros; dirige y controla las funciones administrativas de la empresa; supervisa el correcto y oportuno cumplimiento de las funciones del personal analizando la eficiencia del desempeño del trabajo; autoriza las compras; autoriza todo cheque expedido; realiza estrategias para el cumplimiento de las metas; analiza los informes de las áreas; coordina la programación de actividades. Es quien responde ante el directorio de la empresa formado por los inversionistas. Este cargo es ocupado por una persona idónea para tal actividad, como un Ingeniero Químico Master en administración de negocios, con horario fijo y cuando se requiera su presencia.

- *Administrativo*: Responsable del seguimiento económico financiero de la empresa; mantiene el correcto funcionamiento de los sistemas y procedimientos contables de la empresa; formula estados financieros; investiga y da soluciones a los problemas referentes a la falta de información para el registro contable; prepara y ordena la información financiera y estadística para la toma de decisiones de las autoridades superiores; identifica y analiza los ingresos, egresos y gastos de operación de la empresa e informa periódicamente al Gerente. Este cargo es ocupado por un contador público, con horario fijo.

Cumple con las tareas contables de administración y comercialización; realiza la compraventa de activos financieros de la empresa, como títulos de valores, bonos, acciones; realiza trámites bancarios, pago de impuestos y cobros; realiza las transacciones entre la empresa y sus prestamistas; además se encarga de la recepción de correspondencia, archiva los informes de calidad de los productos elaborados, etc. Elevará los informes al gerente general. Esta tarea es realizada por un administrador de empresas, con horario fijo.



- *Recepcionista*: Es el encargado de atender al público; realiza la compra de insumos para la oficina (lapiceras, tinta y papel para las impresoras, etc.); además cumple con la función de secretario del Gerente. Esta tarea es realizada por una persona amable, con buenos modales (preferentemente mujer), con conocimientos de computación e inglés con horario fijo.

- *Responsable de comercialización*: Tiene como función principal la optimización de las compras y de las ventas. Es decir, busca proveedores, acuerda precios, planifica ventas e inserta el producto en el mercado.

Debe informar al gerente semanalmente mediante una planilla de los movimientos del período.

Esta tarea es realizada por un Licenciado en Marketing o similar, con conocimientos de idioma, desempeñándose con horario fijo.

- *Jefe de producción*: Mantiene un buen nivel de inventarios y una adecuada rotación del mismo; verifica la producción diaria de dimetildiclorosilano para la confirmación de pedidos y ventas, por lo que mantiene una estrecha relación con el encargado de comercialización; supervisa todo el proceso de producción y reporta al gerente cualquier problema o necesidad que surja; vigila que el personal del área de producción realice eficazmente sus labores y despache adecuadamente el producto; vigila la higiene de toda el área, así como el contar con el equipo y las herramientas necesarias para el trabajo; formula y desarrolla los métodos más adecuados para la elaboración del producto; hace informes sobre los avances del proceso de producción; coordina la mano de obra, los materiales, herramientas y las instalaciones para mejorar la producción. Esta tarea es realizada por un ingeniero químico, con horario fijo.

- *Supervisores*: Intervienen en el proceso trabajando a la par de los operarios, verifican el correcto desempeño de estos; llevan registros de los lotes producidos y los operarios que intervienen en dicha producción; hacen de intermediarios entre los operarios y el jefe de



producción a quién les elevan los informes y realizan las actividades que este les asigna. Esta tarea es desempeñada por una persona que cuente con el suficiente conocimiento de todas las tareas realizadas y determinada experiencia. Se contará con un supervisor por cada turno.

- *Operarios*: Se ocupan del manejo y correcto funcionamiento de los equipos que tienen a su cargo y de cumplir con las tareas que le son asignadas y con las normas establecidas por sus superiores; además de la limpieza de su zona de trabajo y del control de proceso en aquellos casos que así lo requiera.

La calificación de los operarios depende de la zona de trabajo:

Columna de destilación: el operario debe tener cursos de capacitación realizados relacionados con este equipo y experiencia en el manejo y control de la torre.

Sala de caldera: se requiere un especialista para el manejo de la caldera que abastece de vapor la planta productiva, el mismo tendrá el título de calderista.

Resto de la planta productiva: El personal apto para el desarrollo de estas actividades es preferentemente joven, con las condiciones físicas adecuadas, y el título de Bachiller.

- *Jefe de control de calidad*: Verifica, supervisa y ayuda en caso que fuera necesario, la actividad de los analistas de control de calidad; mantiene el archivo de las planillas de registro y reporta al jefe de producción los resultados de los análisis realizados; controla el despacho del producto terminado; vigila la higiene de todo el laboratorio, así como el contar con el equipo y e insumos necesarios para el trabajo realizando los pedidos de faltantes al encargado de compras, implementa una política de higiene y seguridad y verifica el uso de la vestimenta adecuada para el trabajo. Esta tarea es realizada por un ingeniero Químico, con horario fijo.

Realiza los análisis correspondientes a la materia prima, producto intermedio y en el producto terminado; lleva un registro completo de los parámetros analizados; se encarga de la limpieza del laboratorio de control de calidad. Esta tarea es desempeñada por un técnico químico o por personal capacitado para tal fin por turno de trabajo.



- *Encargado de mantenimiento*: Tiene a su cargo a los especialistas y junto a ellos se encarga del mantenimiento preventivo de los equipos llevando un registro de las tareas realizadas; petición para la compra de repuestos y accesorios. Esta tarea es desempeñada por un ingeniero electromecánico, con horario fijo.

Se encarga del mantenimiento preventivo de los equipos, tal como lubricación periódica de sistemas móviles, control de vibración en motores, inspección de equipos, etc. En este rubro se incluyen dos mecánicos y un electricista con horario fijo y disponibilidad en cualquier otro horario que en la planta se requiera su servicio por cualquier problema que pueda surgir.

- *Jefe de logística*: Se encarga de controlar el desarrollo de todas las actividades que se realizan fuera de la planta de producción como recepción y almacenamiento de materia prima; lleva registro del movimiento y rotación de la misma; tiene a su cargo a los balanceros y a los operarios de almacenamiento de materia prima. Esta tarea es desempeñada por una persona idónea y con experiencia en esta actividad, con horario fijo.

- *Almacenamiento de materia prima e insumos*: Los empleados de este cargo se ocupan de la descarga de materia prima e insumos de los camiones y del control del transporte de esta hacia la celda de almacenamiento y tanques de insumos. El personal apto para el desarrollo de estas actividades es preferentemente joven, con las condiciones físicas adecuadas, requiriendo el título de Bachiller. Se cuenta con 2 empleados para esta actividad por turno.

14.5 Programación de la producción y turnos de trabajo

La producción de dimetildiclorosilano se lleva a cabo durante 192 días al año de lunes a viernes en dos turnos de 8 horas cada uno por día tal como se detalló anteriormente en el Capítulo 6 - Balance de Masa y Energía. El resto de las tareas son de carácter anual. El personal de la organización se divide en dos grupos:



- Personal que trabaja con horario fijo: se entiende como horario fijo a las personas que trabajarán de 6:00 a 14:00 horas de lunes a viernes. En la condición de horario fijo habrá 17 personas (todos los empleados de la fábrica, excepto los calderistas, los operarios calificados de la columna de destilación y los guardias). Tendrán 30 minutos para desayunar, merendar o descansar.

- Personal que trabaja con horario rotativo: la rotación de los turnos se realizará cada semana. El turno 1 será de 6:00 hasta 14:00 horas, el turno 2 desde 14:00 hasta 22:00 horas. En la condición de horario rotativo trabajarán 16 personas (supervisores, operarios, analista de calidad y guardias). Tendrán 30 minutos para desayunar, merendar o descansar. En las jornadas de trabajo de los supervisores, calderistas y de los operarios calificados no existirán francos debido a que la producción se parará sábados y domingos. Sin embargo, en el caso de los guardias de seguridad habrá francos, ya que deben trabajar de lunes a domingos.

La tabla a continuación presenta la disposición de turnos de operación de la planta para cumplir con la jornada de trabajo y es el horario que debe respetar el personal.

Tabla 101: Esquema de turnos rotativos

Organización de turnos para operarios calificados y calderistas				
DÍA	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4
Lunes	6:00 a 14:00	14:00 a 22:00	6:00 a 14:00	14:00 a 22:00
Martes	6:00 a 14:00	14:00 a 22:00	6:00 a 14:00	14:00 a 22:00
Miércoles	6:00 a 14:00	14:00 a 22:00	6:00 a 14:00	14:00 a 22:00
Jueves	6:00 a 14:00	14:00 a 22:00	6:00 a 14:00	14:00 a 22:00
Viernes	6:00 a 14:00	14:00 a 22:00	6:00 a 14:00	14:00 a 22:00



CAPÍTULO 15

ESTUDIO ECONOMICO – FINANCIERO

15.1 Introducción

El estudio técnico realizado en los capítulos anteriores permite determinar la viabilidad técnica del proyecto a realizar; el estudio de mercado definió que existe un mercado potencial insatisfecho que es cubierto con importaciones y exportaciones, la demanda proyectada a través del tiempo, la disponibilidad de materia prima, los precios y el sistema de comercialización adecuado; esta información se tomó en consideración al seleccionar el proceso productivo del cuál derivaron las necesidades de equipos y maquinarias, lo que demostró que tecnológicamente no existe impedimento para llevar a cabo el proyecto; de la determinación de la disposición en planta y del estudio de los requerimientos de los operarios, así como de su movilidad, se definieron las necesidades de espacio y obras físicas.

En el presente capítulo se realiza el análisis económico financiero, el mismo comprende el estudio y evaluación de costos e inversiones necesarias para llevar a cabo el proyecto de elaboración de dimetildiclorosilano (DDS).

En primer lugar, se realiza una clasificación de las inversiones llevadas a cabo y los costos involucrados, en la siguiente sección se verifican los indicadores financieros para determinar la rentabilidad del proyecto y por último se desarrolla un estudio de sensibilidad.

Se realiza el cálculo del valor actual neto (VAN) y de la tasa interna de retorno (TIR) del proyecto, bajo los mecanismos generales que requiere la valuación por el método del flujo de fondos descontado.

El estudio tiene en cuenta los montos de dinero expresados en pesos argentinos, con una equivalencia de cambio al dólar de 79.29 \$ARG/ USD, y considera un volumen de producción constante en el periodo del ejercicio económico de 10 años.



15.2 Inversión total

La inversión representa el capital necesario para hacer frente a un proyecto determinado. La misma está compuesta por:

- Activos fijos.
- Activos nominales.
- Fondo de maniobra o capital de trabajo.

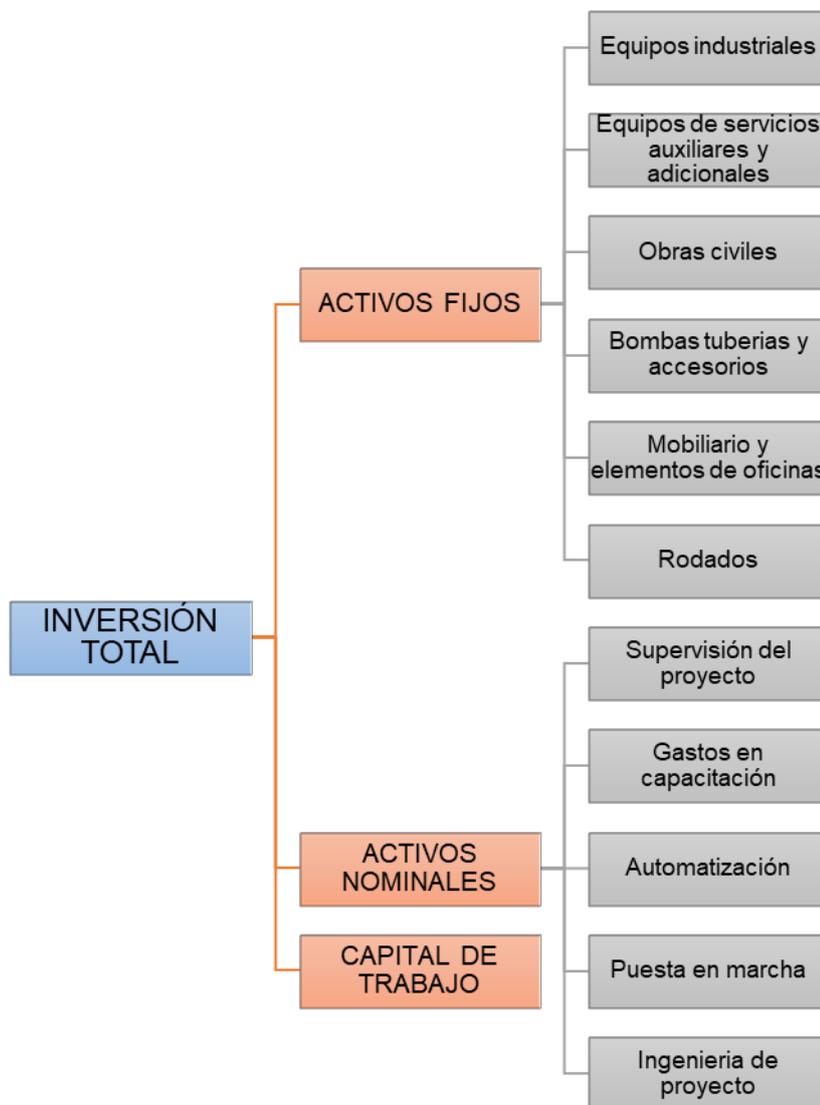


Figura 27: Composición de la inversión total del proyecto



15.3 Activos fijos

Se denominan activos fijos a aquellos bienes que son permanentes en el período de actividad de la empresa, son indispensables para el normal desarrollo de esta. Esto supone que no serán vendidos ni desechados en el corto plazo. Entre los activos fijos de la empresa se encuentran las obras civiles, los equipos industriales y de servicios auxiliares, las tuberías y accesorios, los rodados y los elementos de oficina. Para la determinación de los costos de estos activos se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La cotización del dólar al día 10/11/2020 del Banco de la Nación Argentina fue de 79.29 pesos por dólar.
- De acuerdo con la ley de IVA (Ley Nacional 23.349), los artículos producidos en nuestro país perciben el 21 % de impuesto al valor agregado, mientras que los de producción extranjera tienen una reducción del 50 % (10,5 %).
- En la estimación del costo de flete, se supone un valor del 1,5 %.

15.3.1 Obras Civiles

En este apartado se detallan los valores del terreno, infraestructura de la planta y sus dependencias. El precio del terreno ubicado en el parque industrial Villa María se determina de acuerdo con información aportada por el mismo. El precio estimado para los lotes de locaciones industriales es de 3694 AR\$/m², cuyas dimensiones son 58 metros de largo y 22 metros de ancho.

El costo de construcción se estima a partir de los valores provistos por el Colegio de Arquitectos de la Provincia de Córdoba (junio 2020). De acuerdo con esta fuente el costo de construcción por m² para oficina, baños, cocina, etc. es de 65414 AR\$/m². Este valor incluye piso, paredes, techo e instalaciones eléctrica, de agua y/o gas.

En cuanto al costo por m² cuadrado de la nave industrial, se estima un valor de 18633 AR\$/m² de acuerdo con la constructora Proyecto y Estructuras, incluyendo piso de concreto reforzado, paredes y techo de chapa acanalada e instalaciones eléctricas, de agua y/o gas.



En la tabla siguiente se resumen los costos de obra civil:

Tabla 1: Resumen de costos de obra civil

Rubro	Superficie (m²)	Precio (AR\$/m²)	Costo (AR\$)	I.V.A. (21%)
Terreno	2880	3171.6	9.134.208	1.918.184
Almacenamiento de materia prima	84	17126.64	1.438.638	302.114
Equipos	30	17126.64	513.799	107.898
Producción	120	17126.64	2.055.197	431.591
Almacenamiento y despacho	146	17126.64	2.500.489	525.103
Laboratorio	10.5	17126.64	179.830	37.764
Taller de mantenimiento	60	8484.03	509.042	106.899
Logística	5	17126.64	85.633	17.983
Sala de caldera	25	8484.03	212.101	44.541
Vestuario	24	29099.43	698386	146661.06
Baños	40	29099.43	1163978	244435.38
Comedor	24	29099.43	698.386	122.218
Oficinas administrativas y jefatura	48	29099.43	1.396.773	122.218
Total			20586459	4323156

15.3.2 Equipos industriales, auxiliares y accesorios

Esta sección involucra todos los equipos inherentes a la producción del DDS como también los de servicios auxiliares, las cañerías y accesorios. Los precios de los equipos se obtienen mediante consulta directa a fabricantes y distribuidores en el país por medio de catálogos. Los principales proveedores son: AGP Bombas, Inflex, WEG, Rotor, etc.

Se considera un costo de flete del 1,5% del costo unitario del equipo, mientras que el IVA es de 10,5 % por tratarse de bienes de capital.

En la tabla siguiente se resumen los costos:



Tabla 2: Resumen de costos.

Denominación Técnica	Nº unidad	Precio unitario (USD)	Costo total (USD)	Flete (USD)	Iva (10.5%) (USD)
Reactor de lecho fijo – R-01	1	6.800	6.800	68	714
Condensador - CF-02	1	1.200	1.200	12	126
Mezclador estático ME-03	1	1.100	1.100	55	116
Torre de destilación D-04	1	16.000	16.000	800	1.680
Recuperador de calor RC-05	1	300	300	15	32
Calentador pre reactor CR-06	1	1.600	1.600	80	168
Calentador de aceite CA-07	1	15.000	15.000	750	1.575
Elevador de tornillo T-08	1	580	580	29	61
Condensador (Torre) CD-09	1	4100	4.100	205	431
Rehervidor (Torre) RD-10	1	400	400	20	42
Sensor de nivel	10	80	80	4	8
Tubo de cloruro de metilo	4	535	2.140	107	225
Tanque almacenamiento silanos TKS-13	2	905	1.810	91	190
Tanque almacenamiento DDS TKP - 14	2	760	1.520	76	160
Tanque almacenamiento residuos - TKR-15	1	250	250	13	26
Separador flash - SF-16	1	1.100	1.100	55	116
Bombas 1 HP	8	947	7.576	379	795
Regulador de presión	1	300	300	15	32
Válvulas	10	250	2.500	125	263
Válvulas ON/OFF	23	80	1.840	92	193
Tuberías (en metros de tubería)	53	30	1.574	79	165
Torre de enfriamiento	2	1.100	2.200	110	231
Bombas 5.5 HP	2	1.465	2.930	147	308
Caldera	1	11.000	11.000	550	1.155
Ablandador de agua	1	3.010	3.010	151	316
Tanque agua usos generales	1	1.000	1.000	50	105
Tanque agua perdidas de torre	1	871	871	44	91
Caudalímetro	8	650	5.200	260	546
Transmisor de temperatura	12	80	960	48	101
Transmisor de presión	9	100	900	45	95
Variador de frecuencia	10	130	1.300	65	137
Total			97141	4427	11153



15.3.3 Mobiliario y elementos de oficina

En esta sección se consideran todos aquellos elementos que, sin estar vinculados de forma directa con el proceso, son indispensables para el desarrollo del mismo. El costo unitario de cada elemento abarca el flete.

Tabla 3: Mobiliario y elementos de oficina

Denominación	N° unid	Precio unitario (AR\$)	Costo total (AR\$)	Iva 21% (AR\$)
Computadoras de mesa	7	15858	111006	23311,26
Proyector	1	13162,14	13162,14	2764,0494
Computadoras portátiles	4	50217	200868	42182,28
Aire acondicionado	5	42288	211440	44402,4
Calefactor	6	13215	79290	16650,9
Escritorios	11	3964,5	43609,5	9157,995
Escritorio recepción	1	4625,25	4625,25	971,3025
Mesa sala de conferencia	1	26430	26430	5550,3
Mesa comedor	1	17179,5	17179,5	3607,695
Sillas	15	2643	39645	8325,45
Armario	3	3964,5	11893,5	2497,635
Heladera	2	55503	111006	23311,26
Microondas	1	5286	5286	1110,06
Baños	4	26430	105720	22201,2
Duchas	4	3964,5	15858	3330,18
Lockers	18	396,45	7136,1	1498,581
Banco para vestuario	2	1982,25	3964,5	832,545
Mesada para laboratorio	1	19822,5	19822,5	4162,725
Banquetas	2	1321,5	2643	555,03
Equipo de vidrio	1	660750	660750	138757,5
Total			1691334,99	4479.51



15.3.4 Resumen de los Activos Fijos

Tabla 4: Resumen de los activos fijos involucrados en el proyecto.

Activo fijo	Costo (AR\$)	Porcentaje
Terreno e inmueble	9134208	30,11%
Obras civiles y construcción	11452251	37,76%
Maquinaria y equipos	7702309,89	25,4%
Flete	351016,83	1,16%
Muebles y útiles	1691334,99	5,58%
Total	30331120,71	100%

En la figura 2 se representa mediante un gráfico circular la composición de los activos fijos indicando los porcentajes de cada categoría respecto del total de estos.

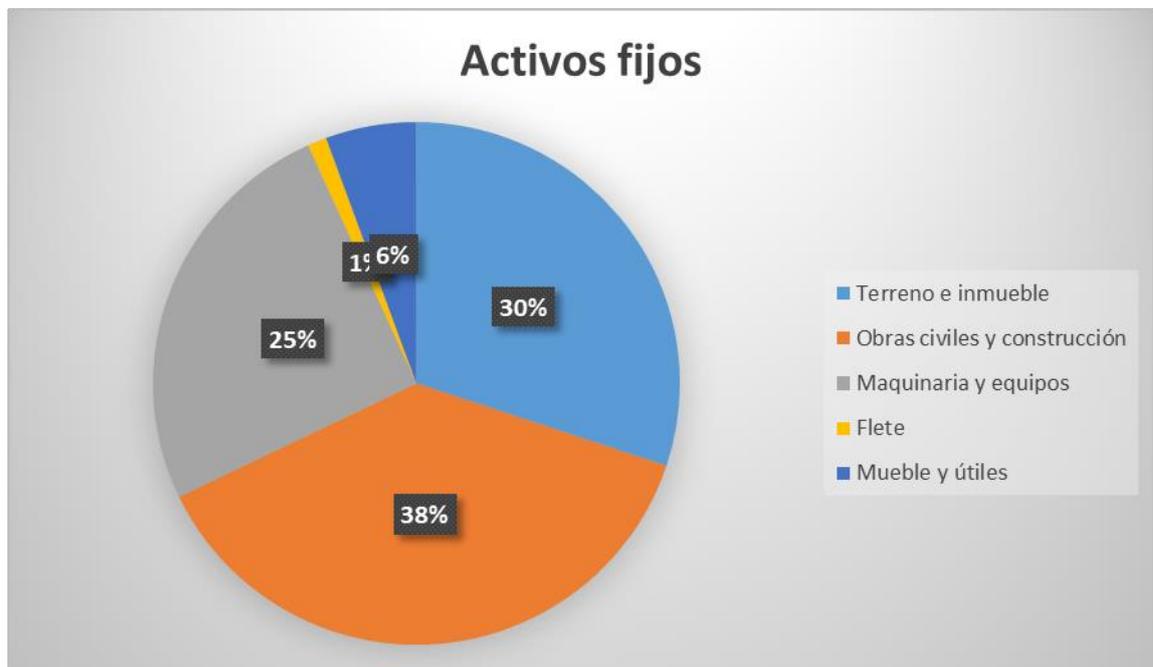


Figura 2 – Grafico de composición de activos fijos



15.4 Activos nominales

Los activos nominales o intangibles corresponden a servicios o derechos necesarios para la puesta en marcha del proyecto. Son recursos muy valiosos para las empresas y pueden generar una gran ventaja competitiva si son correctamente gestionados. Proviene de los conocimientos, habilidades y actitudes de las personas y empresas. Hay muchos tipos de activos nominales como las patentes, marcas, derechos de autor, fondos de comercio, dominios de internet, franquicias, puesta en marcha, capacitación, imprevistos, etc.

A continuación, se detallan los activos intangibles considerados en este proyecto.

15.4.1 Supervisión del proyecto

El costo de la supervisión de construcción del proyecto se estima en un 5% del costo de obras civiles. Las tareas comprendidas son la dirección y administración de todas las obras de construcción e instalación de maquinarias y equipos.

15.4.2 Capacitación

Para dar comienzo a la actividad industrial, es necesario formar y capacitar al personal previo al inicio del proyecto. De esta forma se asegura que cada empleado tenga las herramientas y conocimientos acorde a la tarea a desempeñar. El primer año se realiza la capacitación inicial a todo el personal de la planta, mientras que en los años posteriores se realiza la capacitación al sector de producción o al sector que se crea necesario según necesidad. Para determinar el monto se estima un valor del 5% del costo total de inversiones fijas.



15.4.3 Automatización de la planta

El software de control utilizado para la automatización, a diferencia de los equipos requeridos para la misma, se considera un activo intangible, por lo que se incluye en esta categoría. Se estima un valor de 10% del costo total de las inversiones fijas.

15.4.4 Ingeniería del proyecto

Para el cálculo de esta categoría se toma en cuenta como referencia el decreto de Ley N 4538, la cual establece honorarios por proyecto y dirección de obra que son proporcionales al costo total de obra. Por lo tanto, se estima un 5% del costo total de inversiones fijas para este monto.

15.4.5 Montaje e instalación de equipos

El costo del montaje de los equipos de la planta se estima como el 50% del costo total de maquinarias y equipos.

15.4.6 Puesta en marcha de la planta

El costo de la puesta en marcha se estima como el costo total de producción por un tiempo determinado, el cual es igual al tiempo de puesta en marcha más la venta del producto. El tiempo tomado de puesta en marcha es de un mes, el cual implica calibrar los equipos y ponerlos en régimen para obtener las condiciones de operación más favorables permitiendo lograr una calidad y rendimiento establecido para el proceso.

15.4.7 Resumen de los activos nominales

En la tabla 5 se expresan los costos de los diferentes activos nominales y en la figura 3 se representa mediante un gráfico circular la composición de estos.



Tabla 5: Resumen de activos nominales

Activos nominales	Costo (AR\$)	Porcentaje
Ingeniería	1464407	15,58
Supervisión del proyecto	1464407	15,58
Gastos de puesta en marcha	363703.23	4,01
Capacitación	1464407	15,58
Montaje e instalación de equipos	3851194.6	40,97
Automatización	770223.06	8,19
Total	9399750.21	100%

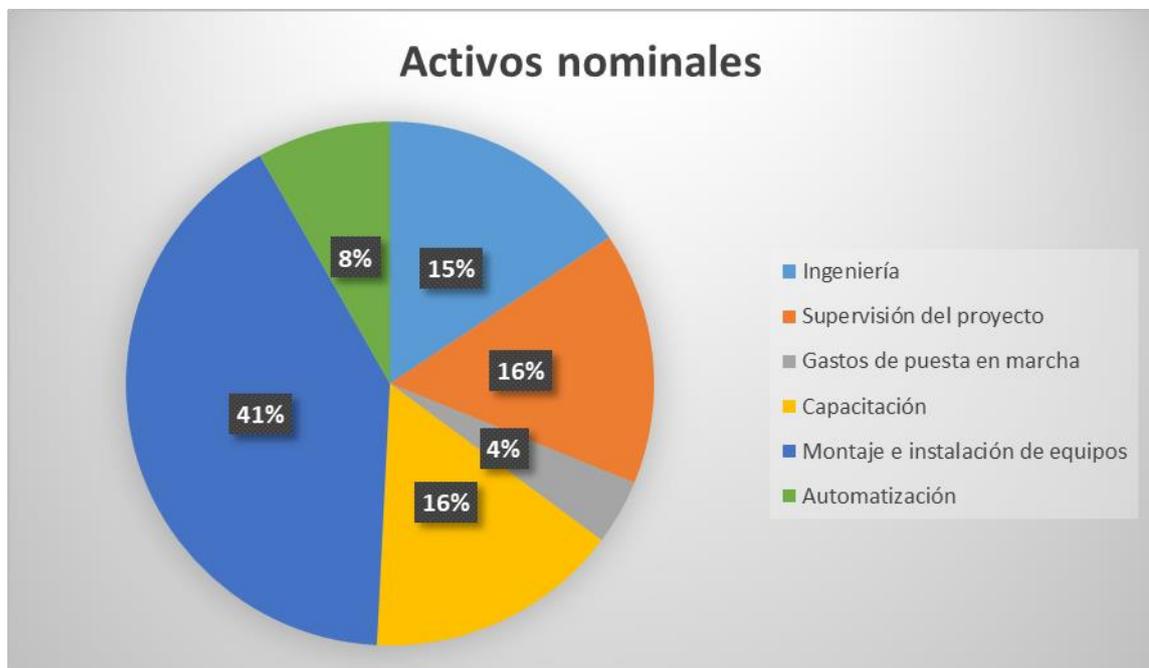


Figura 3: Gráfico del total de activos nominales

15.5 Capital de trabajo

También se conoce como Activos Corrientes se define como aquel gasto necesario para la operación normal del proyecto durante un ciclo productivo.

El capital de trabajo se entiende como los primeros desembolsos con los cuales se cancelan los insumos iniciales para producir los productos o servicios que se consumirán en el primer ciclo de trabajo.



Dicha inversión debe garantizar la disponibilidad de recursos para la compra de materia prima y para cubrir costos de operación durante el tiempo requerido para la recuperación del efectivo (Ciclo de efectivo: Producir-vender-recuperar), de modo que se puedan invertir nuevamente. El efectivo inicial requerido puede determinarse a través del estudio de mercado, identificando como pagan los clientes, como cobran los proveedores, y estableciendo las ventas mensuales esperadas. En este caso para estimar el capital de trabajo necesario se toma como un ciclo productivo de mes (30 días), ya que de esta manera se abonaría al personal la remuneración mensual.

En la tabla 6 y figura 4 se resumen los montos de capital de trabajo con su respectiva composición porcentual.

Tabla 6: Resumen capital de trabajo

Capital de trabajo	Costo (AR\$)	Porcentaje
Materia prima	3153042.18	59,64
Insumos	31716	0,6
Mano de obra directa	820732.8	15,4
Mano de obra indirecta	1053562.7	19,93
Servicio de limpieza	95148	1,8
Gastos de comercialización	138757.5	2,62
Total	5286693.26	100%

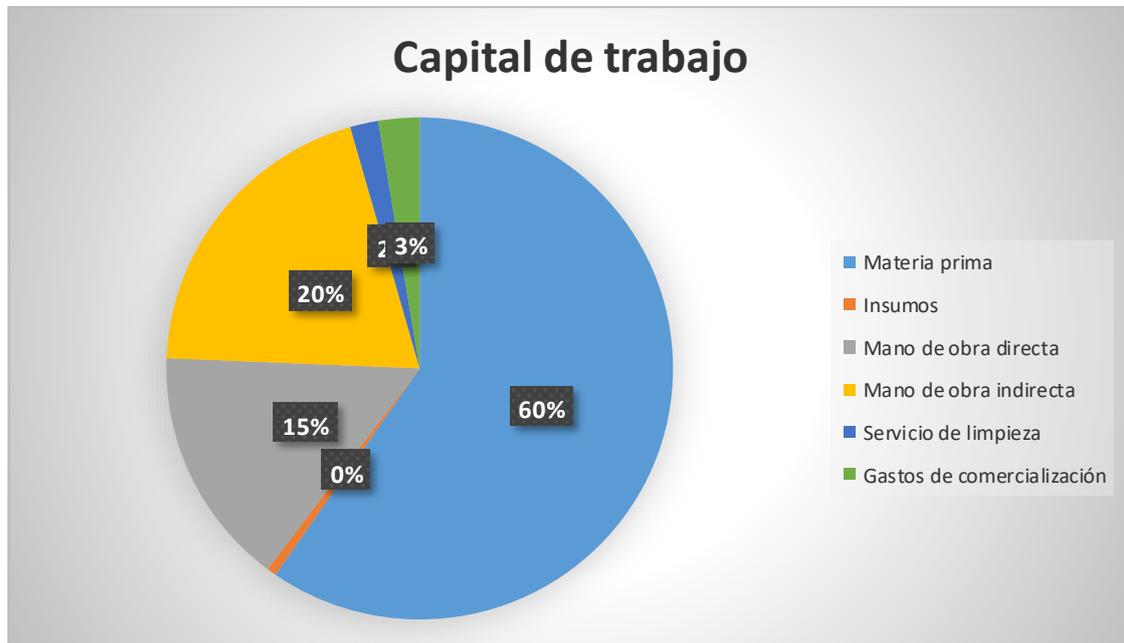


Figura 3: Grafico del total de activos nominales

15.6 Inversión total del proyecto

Estimadas las tres aristas de la inversión, solo queda sumarlas para obtener el capital necesario para concretar el proyecto y comenzar con la actividad industrial. Esta inversión calculada (Tabla 7), será la que se tendrá en cuenta al momento de valorar los costos financieros, ya que este capital se obtendrá a través de financiación externa. En la figura 4 se representa gráficamente la composición porcentual de la inversión total del presente proyecto.



Tabla 7: Inversión total del proyecto.

Categoría	Costo (AR\$)	Porcentaje (%)
Activos Fijos	29288695.23	63,43
Activos Nominales	9399750.21	20,36
Capital de Trabajo	5286693.26	11,45
IVA	6956929.18	15,06
Total	46174667.88	100

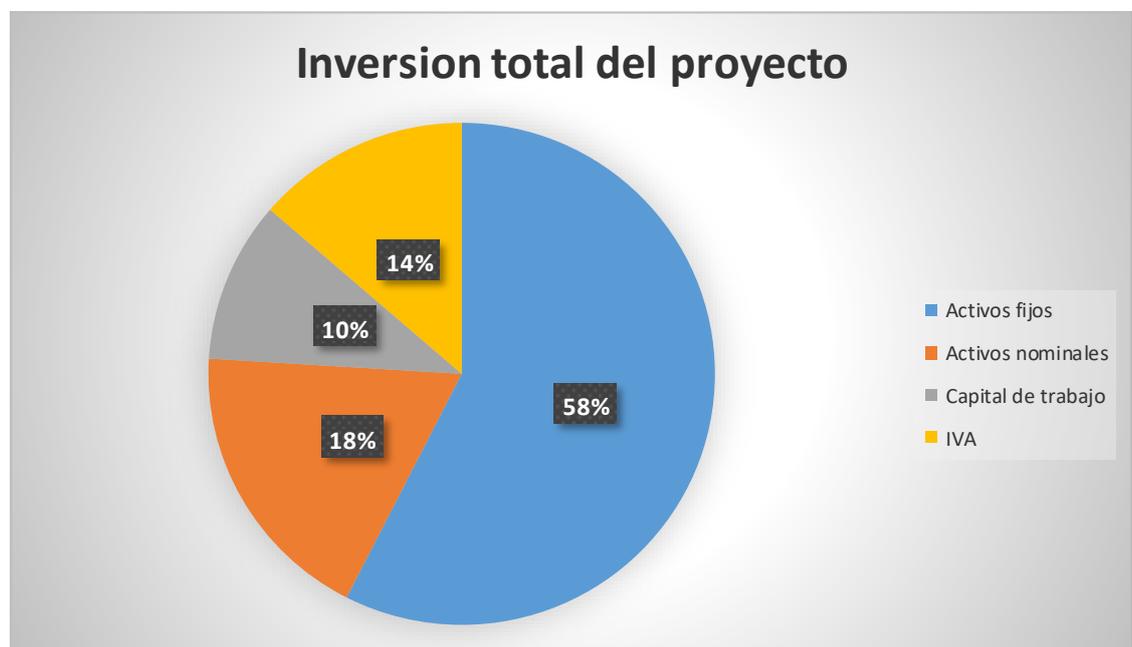


Figura 4: Grafico Inversión total del proyecto

15.7 Costos totales de producción

Los costos de producción o de operación son los gastos necesarios para mantener una línea de procesamiento y equipos en funcionamiento. Se dividen en:

- Costos de fabricación (gastos directos, indirectos y fijos).
- Costos generales (gastos de administración, distribución, marketing, etc.).



En la siguiente figura se representa la composición detallada de los costos totales de producción.

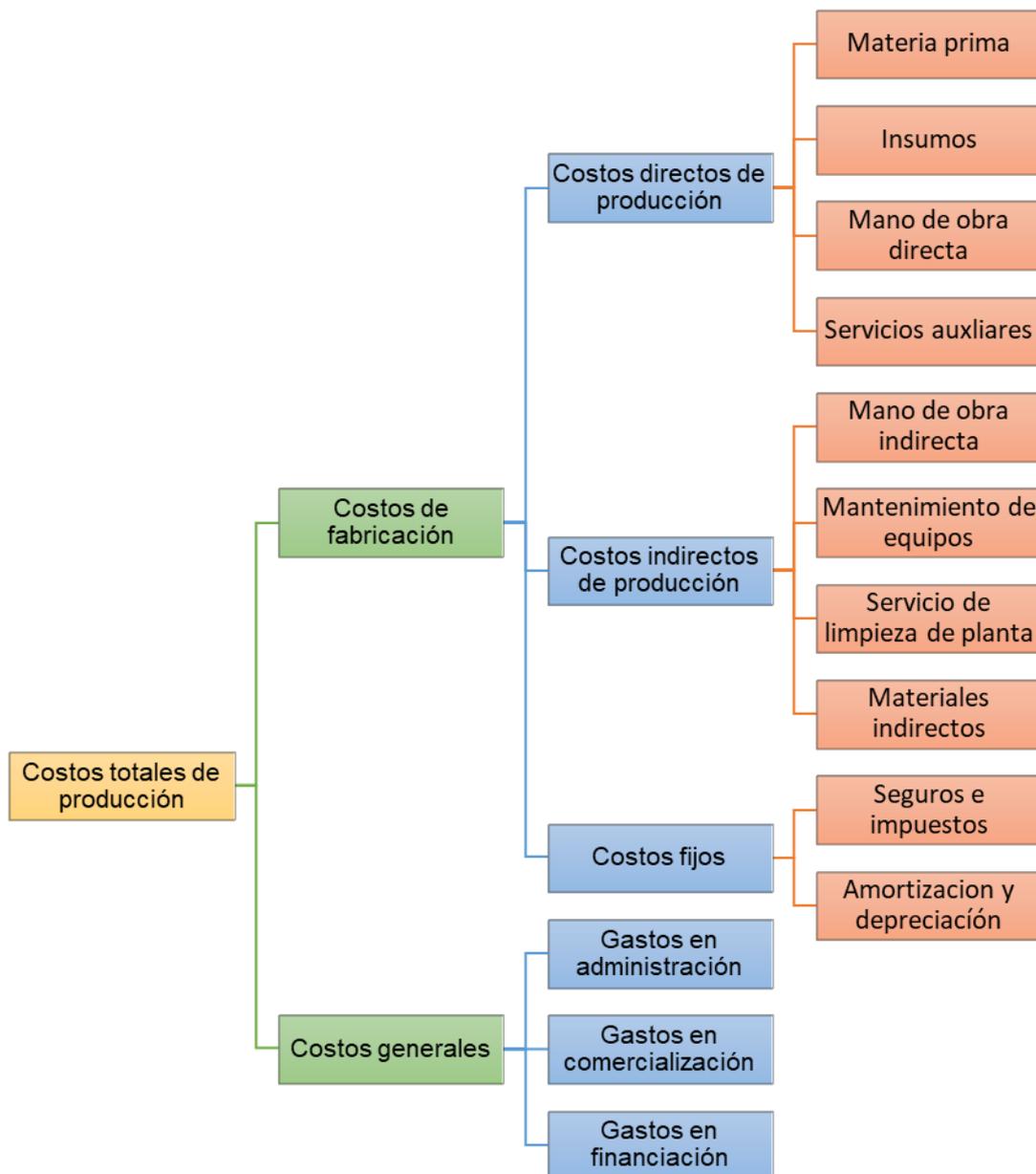


Figura 5: Costos totales de producción



15.8 Costos directos de producción

Estos costos intervienen de manera directa en la realización y producción del Dimetildiclorosilano, afectando de manera inmediata a la determinación del precio final de un producto. Están compuestos por materia prima e insumos, salarios de los operarios involucrados en la producción (mano de obra directa), los insumos energéticos.

15.8.1 Materia Prima

En los costos de la materia prima se incluyen los costos de transporte. Previo a la adquisición, se asegura que la misma contenga una composición adecuada para el proceso como se especifica en los capítulos anteriores. Los costos de transporte se incluyen en el precio de esta. En la tabla 7 se detalla el costo de la materia prima requerida.

Tabla 7: costos anuales de materia prima

Materia prima	Cantidad requerida	Unidad	Precio unitario (AR\$/kg)	Costo flete (AR\$/kg)	Costo total (AR\$)
Silicio	287280	kg	214,87	3,17	62640685,8
Cloruro de metilo	574560	kg	27,35	0,40	15944901,84
Total					78585587,64

15.8.2 Insumos

Tabla 8: costos anuales de insumos

Insumos	Cantidad requerida	Unidad	Precio unitario (AR\$/kg)	Costo flete (AR\$/kg)	Costo total (AR\$)
Catalizador de Cu	100	kg	4	0,6	32191,74
Total					32191,74



15.8.3 Servicios auxiliares

Basado en el capítulo de servicios auxiliares se procede a hacer un resumen del consumo de estos.

- **Servicio de gas natural:** Distribuido por la empresa ECOGAS, el consumo se calcula en función de la tarifa por categoría de la planta y se adopta un consumo constante anual.
- **Servicio de electricidad:** La empresa que suministra la energía eléctrica es EPEC y se tiene en cuenta la infraestructura que posee el parque industrial Villa María.
- **Servicio de agua de red:** Se suministra agua en el parque industrial mediante una red de distribución de la empresa Cooperativa de Agua de Villa María y se aplican las tarifas correspondientes al tipo de planta y por consumo.

Tabla 9: Costos servicios auxiliares anuales

Servicios Auxiliares	Consumo anual	Unidad	Precio unitario (AR\$)	Costo total anual (AR\$)
Energía eléctrica	1211952	kWh	1,855	2248664,4
Gas natural	121800	m ³	0,095	11576, 34
Agua	600	m ³	.1,34	808,758
Total				2261049,5

15.8.4 Mano de obra directa

En la tabla 10 se detallan los costos de mano de obra directa, siendo aquellos los que están ligados directamente al proceso y que varían en función del volumen de producción.



Tabla 10: Costos Mano de obra directa

Sector	Cargo	Cantidad	Jornal por hora (AR\$)	Costo anual (AR\$)	Cargas sociales (45%)	Costo total anual (AR\$)
Producción	Supervisor	4	431,34	1794332,70	807489,36	2601822,06
	Operario de producción	2	317,16	3958156,80	1781170,56	5739327,36
	Calderista	2	372,66	1550278,08	697593,42	2247871,50
Total						10589020,92

15.8.5 Resumen de costo directo de producción

En la tabla siguiente se resumen los costos directos de producción a lo largo de un año con su respectiva composición porcentual y posteriormente en un gráfico circular se representan dichos valores porcentuales.

Tabla 11: Resumen costos directos de producción

Costo directo de producción	Costo anual (AR\$)	Porcentaje (%)
Materia prima	78585587,64	85.92
Insumos	32191,74	0.35
Servicios auxiliares	2261049,50	2.47
Mano de obra directa	10589020,92	11.58
Total	91467849,80	100

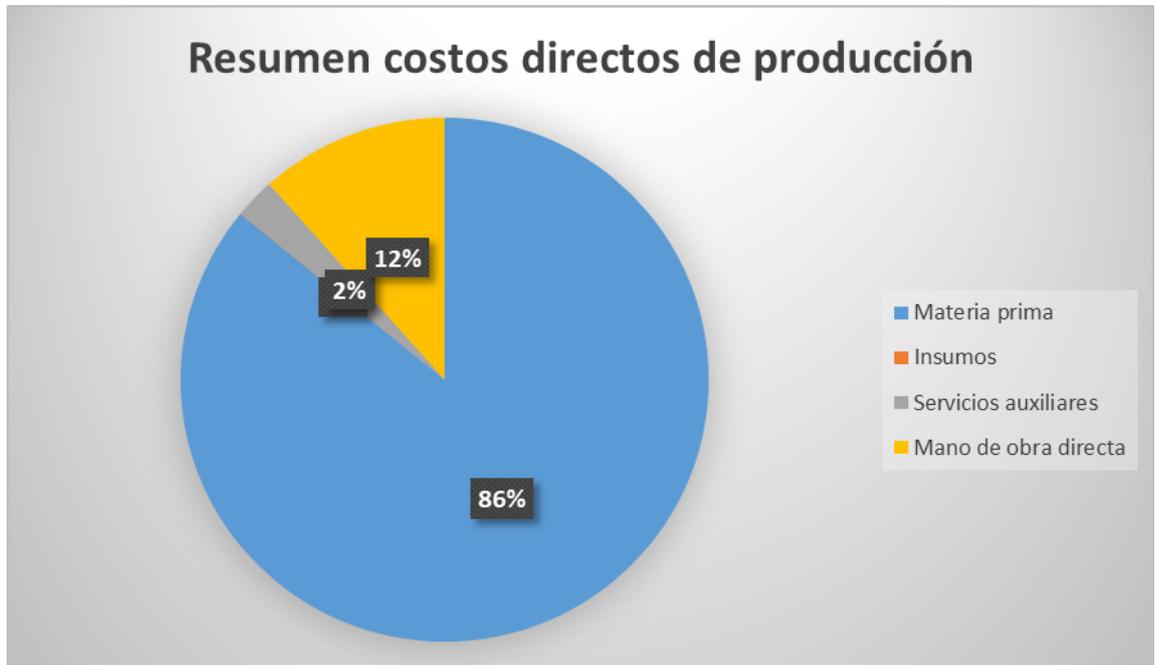


Figura 5: Grafico Costos directos de producción

15.9 Costo indirecto de producción

Los costos indirectos de producción hacen referencia a todos aquellos gastos que debe realizar una empresa para lograr la producción establecida. Cualquier gasto que no sea el costo directo de mano de obra ni el costo directo de los materiales es considerado una forma de gasto general. Comprende la mano de obra indirecta, los gastos de mantenimiento de equipos y el servicio de limpieza.

15.9.1 Mano de obra indirecta

Es el monto de salarios y demás cargas laborales devengados por los empleados que, aunque trabajan en la planta, no se relacionan directamente con la producción. Se tienen en cuenta los auxiliares de laboratorio, los jefes de cada sector, gerentes, asistentes administrativos, etc. Las cargas sociales se consideran del 45% para los auxiliares de



laboratorio mientras que para el resto de los empleados se considera una carga social del 28%. En ambos casos los sueldos incluyen el aguinaldo correspondiente.

Tabla 12: Resumen costos mano de obra

Sector	Cargo	Cantidad	Sueldo mensual básico (AR\$/mes)	Porcentaje de cargas sociales	Cargas sociales (AR\$/mes)	Costo total mensual (AR\$/mes)	Costo total anual (AR\$/año)
Gerencia general	Gerente general	1	12353,82	28	34597,4	158104,26	2055672,5
Administración	Jefe de administración	1	57088,8	28	15984,86	73073,66	949973,49
Administración	Recepcionista	1	52521,7	28	14705,92	67158,63	873934,38
Comercialización	Encargado de comercialización	1	103473,45	28	28980,49	132458,7	1722575,3
Logística	Encargado de logística	1	116270,86	28	32556,47	148827,33	1934747,4
Calidad e Higiene y seguridad	Encargado de calidad e higiene y seguridad	1	116270,86	28	32556,47	148827,33	1934747,4
Producción	Jefe de producción	1	137586,38	28	38523,84	179110,23	2289419,5
Total							11761561

15.9.2 Mantenimiento y limpieza de la planta

En esta sección se consideran los costos de mantenimiento de equipos tanto preventivo como correctivo y el servicio de limpieza de la planta. Cada uno de ellos se estima como un 5 % del total de los activos fijos. En la siguiente tabla se resumen los costos mencionados.



Tabla 13: Costos de mantenimiento y limpieza

Costos de mantenimiento y limpieza	Costo (AR\$)	Porcentaje
Mantenimiento equipos	1464434.76	50
Servicio de limpieza de la planta	1464434.76	50
Total		100,00%

15.9.3 Resumen de los costos indirectos de la producción

En la tabla siguiente se resumen los costos indirectos de producción a lo largo de un año con su respectiva composición porcentual y posteriormente en un gráfico circular se representan dichos valores porcentuales.

Tabla 14: Resumen costos indirectos de producción

Costo indirecto de producción	Costo (AR\$)	Porcentaje (%)
Mano de obra indirecta	11761561,44	80,06
Mantenimiento equipos	1464434,76	9.97
Servicio de limpieza de la planta	1464434,76	9.97
Total	14690430.96	100,00%

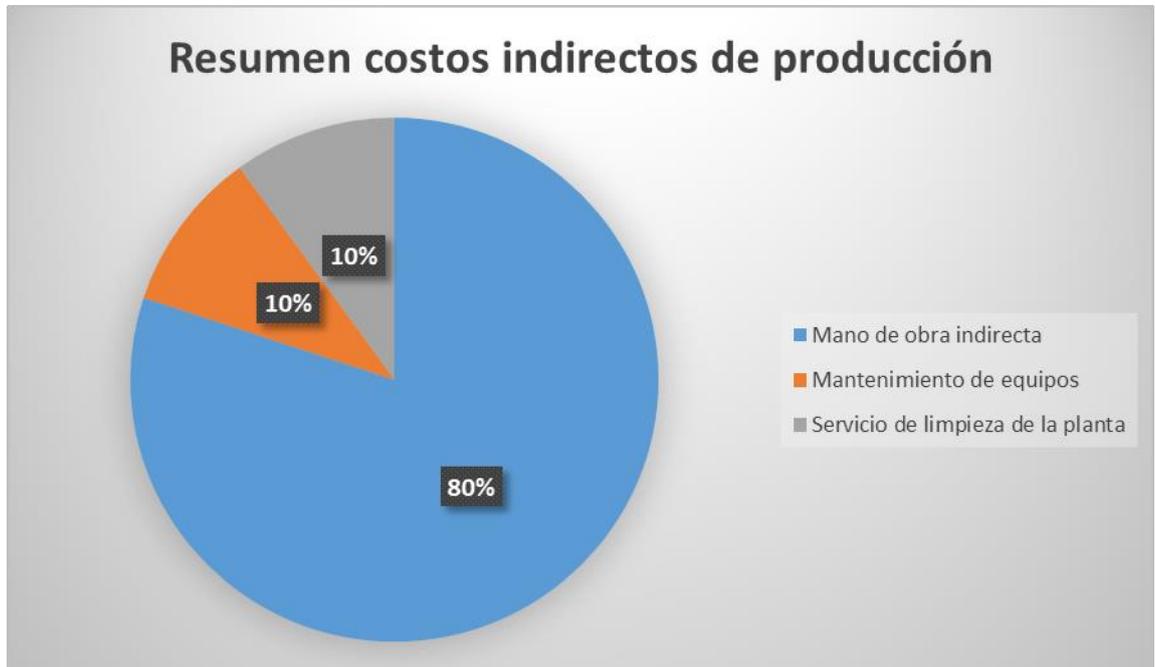


Figura 6: Grafico Costos indirectos de producción

15.10 Costos fijos indirectos

En esta sección se incluyen los costos de amortización y depreciación del edificio, maquinarias, muebles y útiles, etc., así como también, seguros e impuestos, que son estos costos son imprescindibles para la ejecución o puesta en marcha del proyecto, a pesar de que son costos que no provienen de materiales directos, mano de obra, gastos administrativos o ventas.

15.10.1 Amortizaciones y depreciaciones

Las amortizaciones son reducciones en el valor de los activos para reflejar en el sistema de contabilidad cambios en el precio del mercado u otras reducciones de valor. Con las amortizaciones, los costos de hacer una inversión se dividen entre todos los años de uso de esa inversión.



Las amortizaciones se aplican a los activos fijos intangibles y representan el proceso financiero mediante el cual se extingue, gradualmente, una deuda por medio de pagos periódicos; y las depreciaciones a los activos fijos tangibles y representa el desgaste debido al uso, del paso del tiempo y la antigüedad del activo.

En la estimación de los costos de amortización se utiliza, adicionalmente, el decreto N.º 873/1997 que fija la vida útil de los bienes considerados, a saber:

- Edificios: 50 años.
- Instalaciones: 10 años.
- Maquinarias y equipos: 10 años.
- Muebles y útiles: 10 años.
- Rodados: 5 años.

Fijada la vida útil de cada rubro, puede extraerse de este dato la tasa lineal de depreciación de un bien. De esto se desprende que al finalizar el proyecto estipulado (a los diez años), algunos de los bienes tendrán un valor nulo o residual, dependiendo del caso.

Tabla 15: Amortizaciones y depreciaciones consideradas.

Categoría	Inversión realizada (AR\$)	Tasa (%)	Depreciación/amortización anual (AR\$)	Valor tras período de actividad (AR\$)
Terreno	9134208	3%	274026,24	6393945,6
Obras civiles	11452251,15	10%	1145225,115	0
Equipos industriales	7702309,9		770254,77	0
Bombas y accesorios			169133,5	0
Mobiliario	1691335		169133,5	0
Total			2358639,63	6393945,6

15.10.2 Seguros e impuestos

Ordenanza Municipal N° 6440 prevé eximiciones sobre los siguientes tributos y derechos:



- Contribución general por el consumo de energía eléctrica, contemplada en el Título XIII, Art. 220 inciso a) de la Ordenanza General Impositiva N° 3155 y sus modificatorias.
- Contribución que incide sobre la actividad comercial, industrial y de servicios, prevista en el Título III en la Parte Especial, de la Ordenanza General Impositiva N° 3155 y sus modificatorias.
- Contribución por servicios relativos a la construcción de obras privadas, determinada en la parte especial, Título XII, de la Ordenanza General Impositiva N° 3155 y sus modificatorias.
- Tasas, sellados y derechos de construcción previstos en la Ordenanza tarifaria vigente y Ordenanzas especiales.

15.10.3 Resumen de los costos fijos indirectos

En la tabla siguiente se resumen los costos fijos indirectos a lo largo de un año con su respectiva composición porcentual y posteriormente en un gráfico circular se representan dichos valores porcentuales.

Tabla 16: Resumen costos fijos indirectos.

Costos fijos indirectos	Costo anual (AR\$)	Porcentaje
Amortización y depreciaciones	2358639,63	48.02
Seguros e impuestos	2553217,29	51.98
Total	4911856,92	100

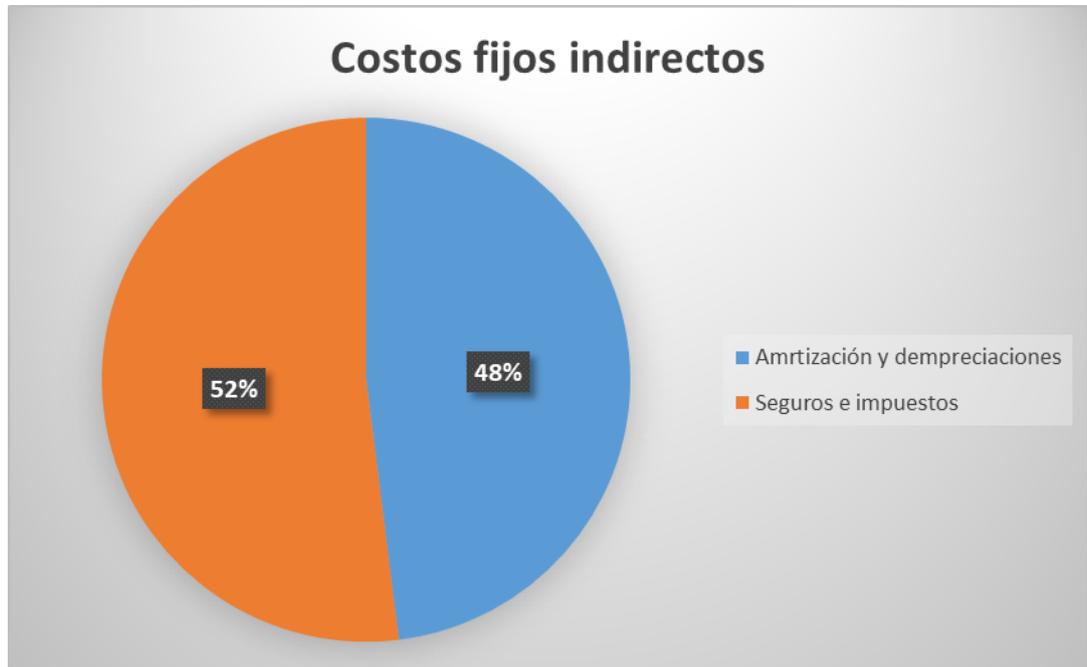


Figura 7: Grafico Costos fijos indirectos de producción

15.11 Costo generales

Los gastos generales son los gastos en los que incurre la empresa que no están directamente vinculados a una función elemental como la fabricación, la producción o las ventas. Estos gastos están relacionados con la organización en conjunto. Aquí, se encuentran los gastos de administración, comercialización y financiación. En esta sección se expresan los dos primeros mientras que el costo de financiación se expresa en la sección posterior correspondiente al estado de resultados. Los costos mencionados se estiman como el 0,05% y 0,01% del costo total anual de producción. A continuación, se resumen los costos generales sin tener en cuenta los gastos de puesta en marcha y posteriormente se representa gráficamente la composición porcentual del mismo.



Tabla 17: Costos generales

Costos generales	Costo anual (AR\$)	Porcentaje
Gastos de comercialización	209008,44	75%
Gastos de administración	41785,83	25%
Total	250974,27	100%

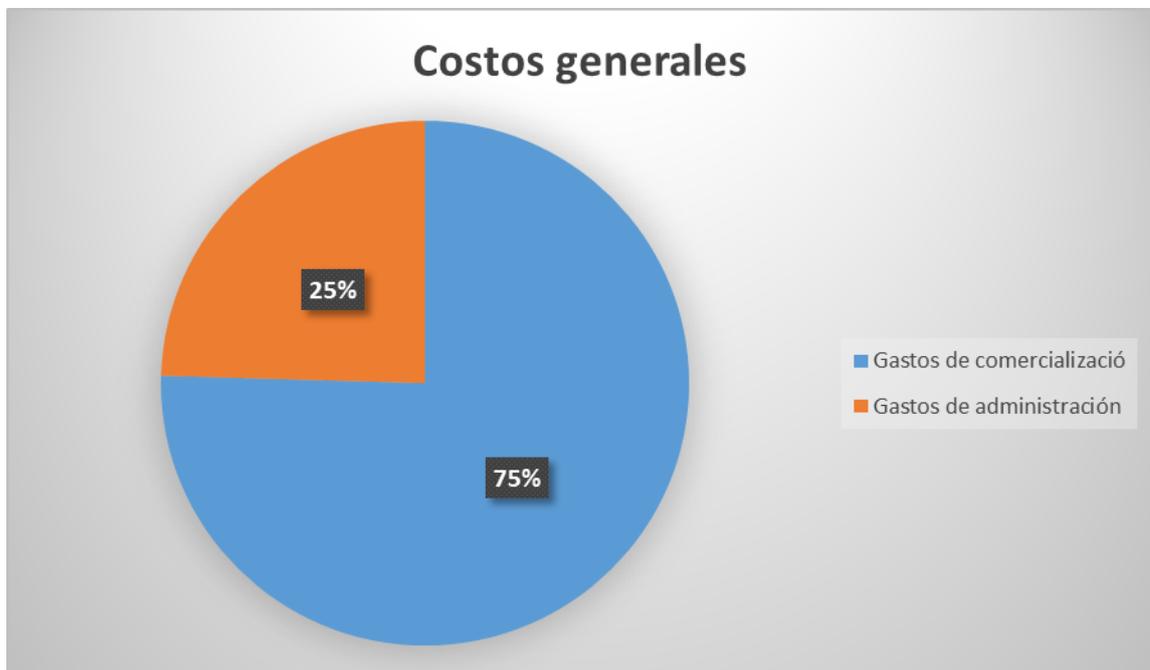


Figura 8: Gráfico Costos generales de producción

15.12 Costos de producción unitarios del DDS producido

El costo unitario es el valor promedio que, a cierto volumen de producción, cuesta producir un kilogramo de producto (Dimetildiclorosilano). Se obtiene dividiendo el costo total de producción (suma de los costos fijos y variables) por la cantidad total producida. Donde



se expresa el costo unitario en AR\$/kg (dólares por kilogramo). En la siguiente expresión se detalla el cálculo del costo unitario del producto obtenido.

$$\text{Costo unitario} = \frac{C. \text{ fijos} + C. \text{ Variables} - \text{Ventas de subproductos}}{\text{Total de unidades}} = \frac{\text{Costo total de producción}}{\text{Total de unidades}}$$

A continuación, se resume el costo total de producción a lo largo de los 10 años, junto con el volumen de producción constante y el unitario por kilogramo de dimetildiclorosilano.

Tabla 18: Costo unitario de dimetildiclorosilano producido

Año	Costo total de producción (AR\$)	Volumen de producción (kg)	Costo unitario (AR\$/kg)
1	40363050,24	201000	200,60
2	40494513,06	205000	197,43
3	41320239,12	210000	196,64
4	41533370,64	212000	195,85
5	41959633,68	216000	194,26
6	42279330,96	219000	192,67
7	42599028,24	222000	191,88
8	42918725,52	225000	190,30
9	43238422,81	228000	189,50
10	43344988,56	230000	187,92

15.13 Ingreso por ventas

Son los montos de dinero percibidos por las ventas del producto. De acuerdo al estudio de mercado y a investigaciones se obtiene el precio del dimetildiclorosilano a un valor de AR\$ 396.45 por kilogramo.

Este valor se considera constante a lo largo del ciclo económico de 10 años debido a que las cantidades producidas y vendidas no varían en el mismo periodo.

Tabla 19: Ingreso por ventas

Producto	Cantidad	Unidad	Precio unitario (AR\$)	Ingreso anual (AR\$)
Dimetildiclorosilano	230000	kg	396,45	91183500



15.14 Financiación del proyecto

La financiación es la contribución de dinero y/o crédito a una empresa que se requiere para comenzar la actividad de un proyecto.

Para este proyecto, el capital disponible para la inversión es aportado por crédito bancario del Banco Nación con una TNA de 30% y sistema de amortización francés.

En el sistema francés la cuota que periódicamente se abona tiene dos componentes: una parte destinada a la amortización de capital y otra en concepto de interés, por el uso de capital prestado.

En este sistema se mantiene constante la cuota total, variando la proporción de capital e intereses de cada cuota. En las primeras cuotas se amortiza proporcionalmente menos capital que en las últimas. Esto depende del nivel de la tasa de interés acordada: cuanto mayor es la tasa menor será la proporción de capital cancelado en las primeras cuotas.

Para el cálculo de la cuota se tiene que

$$TEM = \frac{(TNA * 30)}{100 * 360}$$

$$Cuota = \frac{(1 + TEM)^n}{(1 + TEM)^n - 1}$$

Donde TNA es la tasa de interés acordada con el banco, tomada en 30%, TEM la tasa efectiva mensual tomada como el interés mensual, y n es el período de 10 años tomado en meses, es decir 120 meses.



Tabla 20: Financiación del proyecto

Monto total del crédito	AR\$ 44.590.562,94	
Entidad bancaria	Banco de la nación argentina	
Sistema de amortización	Francés	
TNA	30	
Número de cuotas	120	
Año	Cuota	Intereses
1	18.064.336,16	13.292.400,35
2	17.994.702,96	13.067.777,12
3	17.901.054,05	12.765.683,85
4	17.775.106,67	12.359.401,99
5	17.605.721,45	11.812.998,05
6	17.377.917,16	11.078.145,50
7	17.071.545,71	10.089.850,51
8	16.659.510,18	8.760.703,63
9	16.105.368,20	6.973.148,85
10	15.360.108,84	4.569.086,40

15.15 Evaluación económica

En un proyecto es muy importante analizar la viabilidad y rentabilidad del mismo, dado que, al formar una empresa se debe invertir cierto capital, el cual se espera recuperar a lo largo de un tiempo determinado. Esta rentabilidad debe ser mayor, al menos, que una inversión de poco riesgo (como pueden ser plazos fijos, letras del estado, entre otros).

Existen muchos índices que indican la rentabilidad de un proyecto. Dos de los más utilizados son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Ambos se basan en el mismo concepto, que es la estimación de los flujos de caja futuros de la empresa, a través de la simplificación de ingresos menos gastos netos.

Antes de proceder a la estimación de estos índices, se calcula el estado de resultados, el cual será necesario para el cálculo de los indicadores antes mencionados.



15.16 Estado de resultados

El estado de resultados, conocido también como estado de ganancias y pérdidas, es un estado financiero plasmado en un documento en el cual se muestra de manera detallada y minuciosa todos los ingresos, gastos, así como el beneficio o pérdida que se genera en una empresa durante un período de tiempo determinado. Gracias al estado de resultados, una empresa cuenta con una mejor visión financiera, pudiendo prevenir y actuar de antemano, pues puede realizar previsiones en base a los resultados que se obtienen a través de este análisis.

Existen algunos conceptos del estado de resultados que es conveniente conocer para comprenderlo, destacando los principales componentes:

- Ingreso por ventas: se refiere a los ingresos totales percibidos por las ventas realizadas en ese periodo concreto.
- Costo de producción de lo vendido: cuanto le costó a la empresa el artículo que vende.
- Utilidad operativa: diferencia entre ventas y coste de ventas, indicando que gana la empresa, en bruto, con el producto vendido.
- Gastos administrativos, comerciales y de financiación: los gastos administrativos son aquellos reconocidos a las actividades administrativas globales de la empresa (gastos de papelería y suministros de oficina, por ejemplo); los gastos comerciales son aquellos necesarios para la venta de un bien o un servicio, y que incluyen gastos como marketing, publicidad y comisiones, entre otros (se consideran un 0,60% del costo de producción de lo que vendido). En gastos financieros incurre una empresa al financiarse con terceros (costo del capital) y que suponen la amortización del capital solicitado junto a los intereses fijados.
- Depreciaciones y amortizaciones: Importes que disminuyen el valor contable de los bienes tangibles que se utilizan en la empresa para llevar a cabo sus operaciones. Por ejemplo: maquinaria, vehículos de transporte, etc.
- Utilidad ante los impuestos: resulta de sustraerle a la utilidad operativa las depreciaciones y los gastos administrativos, comerciales y de financiación.
- Impuesto a las ganancias: se consideran el 35% de la utilidad antes del impuesto.



• Utilidad neta o flujo neto efectivo: es la ganancia o pérdida final que la empresa obtiene después de la actividad y resulta de adicionarle las depreciaciones de la utilidad después de impuestos.

En la tabla 21 se detalla el estado de los resultados para un período de 10 años de actividad del proyecto. En la figura 9 se analiza el flujo neto efectivo de dicho período.

Tabla 21: Estado de resultados año 1 a 5

EJERCICIOS	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Ventas Netas	79.686.450	81.272.250	83.254.500	84.047.400	85.633.200
Costo de producción de lo vendido	40.671.387	40.416.128	41.239.931	41.452.298	41.877.030
RESULTADO OPERATIVO	39.015.063	40.856.122	42.014.569	42.595.102	43.756.170
Gastos de Administración	218.650	216.725	216.725	216.725	216.725
Gastos de Comercialización	43.730	43.345	43.345	43.345	43.345
Gastos de Financiación	18.064.336	17.994.703	17.901.054	17.775.107	17.605.721
Depreciación-Amortización	2.101.229	2.101.229	2.101.229	2.101.229	2.101.229
RESULT. ANTES DE IMPUESTOS	18.587.117	22.601.349	23.853.445	24.559.926	25.890.379
Depreciación-Amortización	2.101.229	2.101.229	2.101.229	2.101.229	2.101.229
Impuesto a las Ganancias	7.240.921	7.910.472	8.348.706	8.595.974	9.061.633
FLUJO NETO DE EFECTIVO	13.447.425	14.690.877	15.504.739	15.963.952	16.828.746



Continuación Tabla 21: Estado de resultados año 6 a 10

EJERCICIOS	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Ventas Netas	86.822.550	88.011.900	89.201.250	90.390.600	91.113.725
Costo de producción de lo vendido	42.195.580	42.514.129	42.832.679	43.151.228	43.344.907
RESULTADO OPERATIVO	44.626.970	45.497.771	46.368.571	47.239.372	47.768.818
Gastos de Administración	216.725	216.725	216.725	216.725	216.725
Gastos de Comercialización	43.345	43.345	43.345	43.345	43.345
Gastos de Financiación	17.377.917	17.071.546	16.659.510	16.105.368	15.360.109
Depreciación-Amortización	2.101.229	2.101.229	2.101.229	2.101.229	2.101.229
RESULT. ANTES DE IMPUESTOS	26.988.984	28.166.155	29.448.991	30.873.934	32.148.640
Depreciación-Amortización	2.101.229	2.101.229	2.101.229	2.101.229	2.101.229
Impuesto a las Ganancias	9.446.144	9.858.154	10.307.147	10.805.877	11.252.024
FLUJO NETO DE EFECTIVO	17.542.839	18.308.001	19.141.844	20.068.057	20.896.616

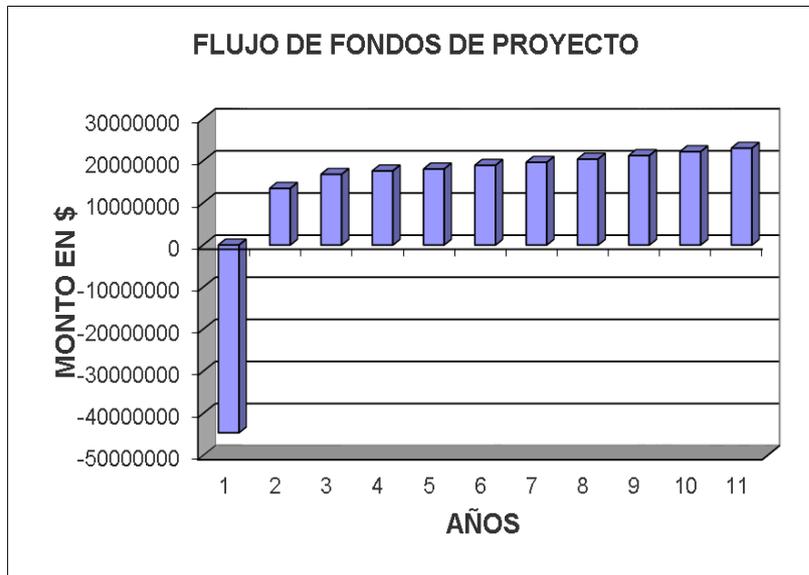


Figura 9: Flujo Neto de efectivo



15.17 Indicadores

15.17.1 Valor Actual Neto (VAN)

El VAN es el valor monetario que resulta de la diferencia entre la suma de los flujos netos y la inversión inicial. Básicamente consiste en descontar o trasladar al presente todos los flujos futuros del proyecto a una tasa igual a la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR). En este caso, se toma una TMAR igual al 30 %, que es la tasa anual impuesta por la entidad financiera para el crédito solicitado.

Los proyectos se clasifican según la rentabilidad como sigue:

- Si el VAN > 0, la inversión produce ganancias y el proyecto debe aceptarse.
- Si el VAN = 0, el proyecto no produce ni ganancias ni pérdidas y no puede decidirse en función las ganancias.
- Si el VAN < 0, la inversión produce pérdidas y el proyecto debe rechazarse.

Analíticamente, el valor actual se calcula como muestra la siguiente expresión. En la tabla 22 se muestra el resultado de este cálculo.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FNE_t}{(1+i)^t}$$

Tabla 22: VAN del proyecto

Indicador	Valor
VAN	AR\$ 8812052,73

15.17.2 Periodo de recuperación de la inversión realizada

El periodo de recuperación de un proyecto es el número de años a partir de los cuales el acumulado de los FNE previstos iguala la inversión inicial, en este caso, el PRI es de 3 años.

En la siguiente tabla se detalla el período de recupero de la inversión.



Tabla 23: Recupero de la inversión

Período	FNE (AR\$)	Saldo (AR\$)
Inversión inicial	-	-44590563,1
Año 1	2101264,29	-42489298,81
Año 2	18286652,7	-24202646,11
Año 3	25371848,58	1169202,41

15.17.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es el interés máximo que podría pagarse por el préstamo solicitado, para la inversión inicial, sin que se comiencen a apreciar pérdidas. Analíticamente, es la tasa que hace el VAN sea igual a cero (la diferencia entre los flujos futuros y la inversión inicial) y para calcularlo se despejan y calculan los intereses en la ecuación del VAN, para cuando el resultado es nulo.

Un proyecto puede determinarse como viable o rentable si la TIR es mayor que la TMAR, caso en el cual se acepta el mismo. Si la TIR es alta, estamos frente a un proyecto rentable, que supone un retorno de la inversión equiparable a unos tipos de interés altos que posiblemente no se encuentren en el mercado. Si la TIR es baja, sin embargo, es factible que existan otras opciones mejores en el mercado para invertir ($TMAR > TIR$).

El valor de la TIR de este proyecto, calculado analíticamente, se muestra en la siguiente tabla

Tabla 24: Tasa interna de retorno del proyecto

Indicador	Valor
TIR	36%

Dado que el valor obtenido como TIR es mayor a la TMAR propuesta por el banco prestador, se concluye que el proyecto es rentable.



15.17.4 Relación Beneficio/Costo

La relación beneficio costo resulta de dividir el valor actualizado de los ingresos del proyecto entre el valor actualizado de los egresos del proyecto a una tasa de actualización igual a la TMAR.

Los criterios para analizar los resultados son: Si la relación es mayor a la unidad, el proyecto es aceptable por que el beneficio es superior al costo; si la relación es menor a la unidad el proyecto debe rechazarse por que no existen beneficios, si la relación es igual a la unidad es indiferente realizar o no el proyecto. Como se observa en la tabla 25 la relación obtenida es superior a 1, lo cual hace viable el proyecto en cuestión.

Tabla 25: Relación beneficio/costo

Indicador	Valor
Relación beneficio/costo	1,26

15.18 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad determina los márgenes de rentabilidad de un proyecto desde otra perspectiva, que es el aumento o reducción de un indicador económico como la TIR, frente a la fluctuación de las principales variables consideradas en el estudio económico. De acuerdo a esto, se analiza la variación de la TIR con la desviación del volumen de producción, de los costos de mano de obra, insumos, materia prima y precio de venta, que son las principales variables que influyen en las utilidades.

Este análisis se realiza de forma gráfica, representando la variación de la TIR con la fluctuación de las variables antes mencionadas y comparándola con la función constante TMAR, dado que si la primera se encuentra sobre esta última el proyecto es rentable, caso contrario deja de serlo.



15.18.1 Variación de la TIR con el precio de venta.

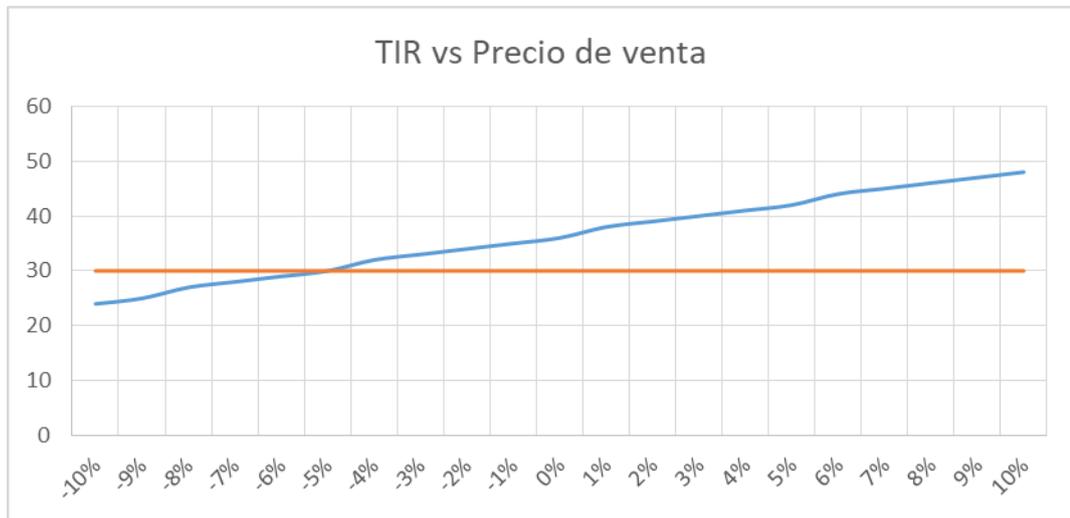


Figura 10: Grafico TIR vs Precio de venta

En esta sección se analiza la relación entre la tasa interna de retorno y el precio de venta del producto. Como se observa en la figura 10, en caso de disminuir el precio de venta en un 4.5% el proyecto deja de ser rentable.

15.18.2 Variación de la TIR con el costo de la materia prima.

En este apartado se analiza la relación entre la tasa interna de retorno y el costo de la materia prima. En caso de aumentar el costo en un 15% el proyecto dejaría de ser rentable.

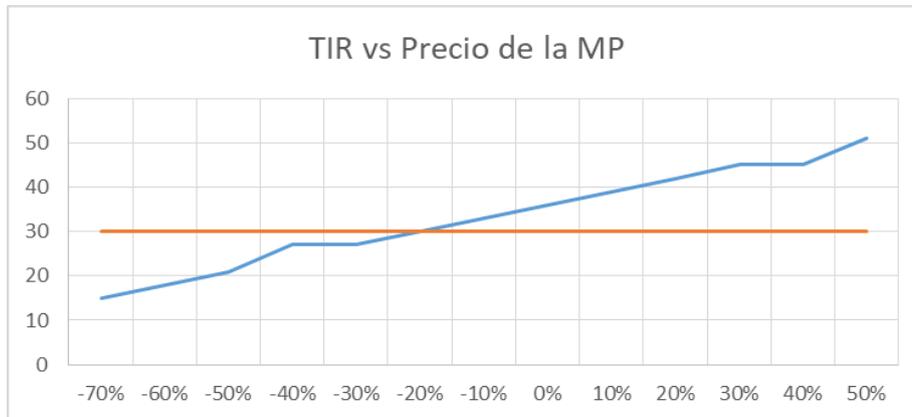


Figura 11: Grafico TIR vs Precio de la materia prima

15.18.3 Variación de la TIR con el volumen de ventas

En este caso se analiza cómo varía el rendimiento del proyecto, medido a través de la TIR, con la fluctuación del volumen de ventas producción. En este punto debe hacerse una salvedad, dado que los costos fijos se consignaron como si continuaran estáticos, aun sabiendo que el nivel de producción potencial está íntimamente asociado con las instalaciones, y, por lo tanto, con estos costos (los costos variables si se tuvieron en cuenta).

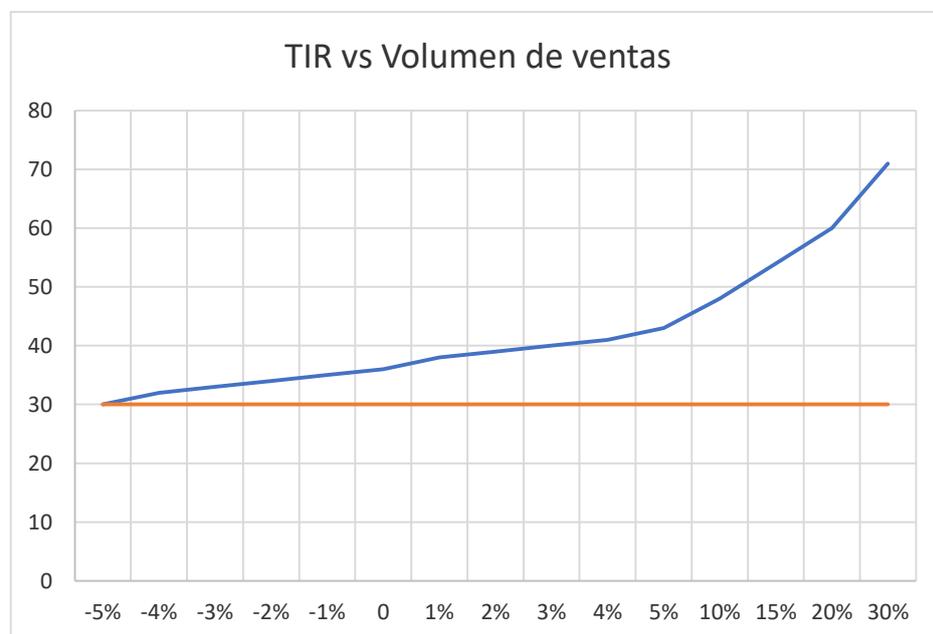


Figura 12: Grafico TIR vs Volumen de ventas



De la figura 12 se extrae que naturalmente con el aumento en el volumen de ventas aumenta también la rentabilidad del proyecto. Sin embargo, se observa que el proyecto posibilita una disminución de las ventas hasta un 5% sin perder rentabilidad, por encima de este valor el proyecto ya no es viable.

15.18.4 Variación de la TIR con respecto a la mano de obra.

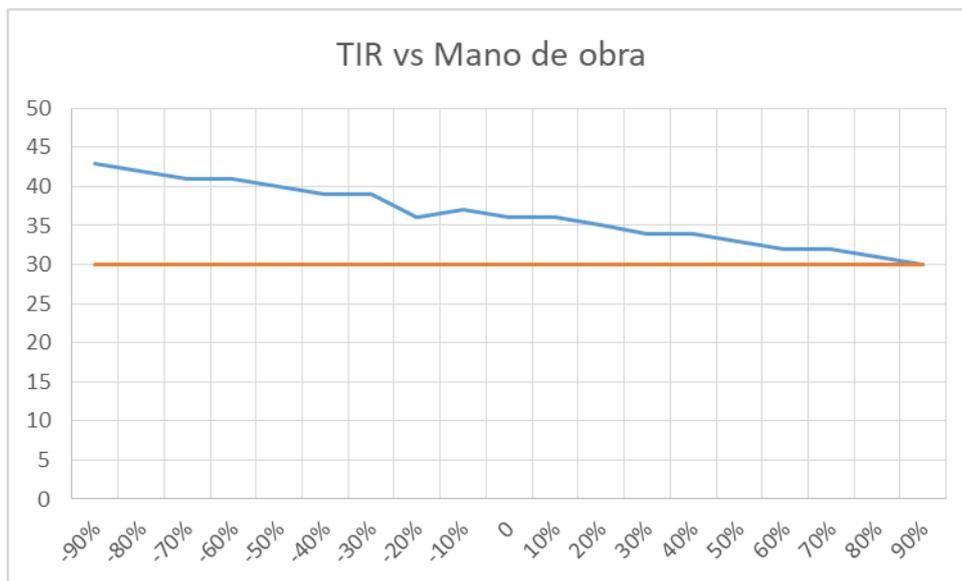


Figura 13: Gráfico TIR vs Mano de Obra

Se analiza la sensibilidad de la tasa interna de retorno a los costos de mano de obra (tanto directa como indirecta). En este caso, se identifica una flexibilidad mayor que con el resto de los indicadores. El proyecto admite aumentos en los costos de personal cercanos al 90% sin pérdida de rentabilidad.

15.19 Conclusiones del análisis económico - financiero

El análisis económico-financiero realizado permite concluir que la puesta en marcha de la planta de dimetildiclorosilano requiere de una inversión inicial de



AR\$ 44.590.562,94 los cuales son financiados por crédito del Banco Nación, con una tasa nominal anual fija del 30% y un plazo de pago de 10 años.

De acuerdo con los resultados vistos a partir del análisis de los indicadores económicos y de rentabilidad, como el VAN, TIR y la relación B/C, se observa la viabilidad económica del proyecto y su rentabilidad, manteniendo los volúmenes y precios establecidos para el producto.

Basados en los análisis de sensibilidad se concluye que las variables más influyentes en la rentabilidad del proyecto son el precio de venta cuyo margen de disminución no debe ser superior al 4.5% y el costo de la materia prima, en donde el mismo no debe aumentar por encima de un 15%. En cuanto al volumen de ventas se observa que el proyecto posibilita una disminución hasta un máximo del 5% sin perder rentabilidad.

El precio de venta del dimetildiclorosilano producido es de AR\$ 396.45 por kilogramo o AR\$ 396450 por tonelada siendo el volumen de venta máximo de 230000 kilogramos.

Respecto a los indicadores, se obtuvo un TIR de 36%, un VAN positivo de

AR\$ 8812052.73 y una relación beneficio/costo de 1.26 los que demuestran numéricamente la rentabilidad del proyecto.



CONCLUSIONES

Analizando los capítulos realizados en este proyecto final se puede concluir que la producción de dimetildiclorosilano es viable y rentable tanto técnica como económicamente, ya que se ha diseñado una planta localizada estratégicamente en cuanto a proximidades de los clientes y con fácil acceso a la distribución. Permite reducir costos de transporte tanto de materia prima como de producto terminado.

Se logra generar una integración energética que posibilita el aprovechamiento de la energía producida, recuperando calor para precalentar las corrientes que ingresan al reactor de síntesis. Creando así, un producto final que cumple con las normativas de calidad exigidas.

Mediante la evaluación económica-financiera analizando indicadores como VAN-TIR estos arrojan resultados favorables, demostrando la factibilidad del proyecto de inversión.

Esto nos indica un buen escenario productivo para llevar a cabo dicho proyecto, permitiendo cubrir la demanda insatisfecha del dimetildiclorosilano.



ANEXO I

Propiedades fisicoquímicas de las materias primas y productos

En las siguientes tablas se muestran las características y propiedades de las materias primas utilizadas y productos obtenidos en la reacción.

Silicio

Tabla N°1: Características generales del silicio.

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Nombre: Silicio	Símbolo: Si
Número atómico: 14	Masa atómica (uma): 28,0855
Período: 3	Grupo: IVA (carbonoideos)
Bloque: p (representativo)	Valencias: +2, +4, -4
PROPIEDADES PERIÓDICAS	
Configuración electrónica: [Ne] 3s ² 3p ²	Radio atómico (Å): 1,32
Radio iónico (Å): 0,41 (+4)	Radio covalente (Å): 1,11
Energía de ionización (kJ/mol): 786	Electronegatividad: 1,90
Afinidad electrónica (kJ/mol): 134	
PROPIEDADES FÍSICAS	
Densidad (g/cm ³): 2,33	Color: gris con brillo metálico
Punto de fusión (°C): 1410	Punto de ebullición (°C): 2840



Tabla N°2: Propiedades termodinámicas.

Propiedades	Estado Sólido	Estado Líquido	Estado Gaseoso
Entropía	a 298 K - 4,5 cal/mol K	a 2000 K - 23,75 cal/mol K	a 298 K - 40,13 cal/mol K
	a 1500 K - 15,48 cal/mol K		a 2000 K - 49,66 cal/mol K
Capacidad Calorífica	a 500 K - 1,06 cal/mol K	a 2000 K - 22,92 cal/mol K	a 500 K - 1,065 cal/mol K
	a 1500 K - 7,37 cal/mol K		a 1500 K - 0,7 cal/mol K
Energía Libre	a 298 K - 4,5 cal/mol K	a 2000 K - 12,29 cal/mol K	a 298 K - 40,13 cal/mol K
	a 1500 K - 10,56 cal/mol K		a 1500 K - 44,12 cal/mol K

Calor de Combustión	Calor específico
Si a SiO ₂ 209,750 kcal	0,16 cal/g °C

Tabla N°3: Propiedades mecánicas.

Propiedades Mecánicas	Magnitud
Coeficiente de Compresibilidad a 20°C	0,32 x 10 ⁻⁶ kgf/cm ²
Módulo de Elasticidad	1,08 x 10 ⁻⁶ kgf/cm ²
Módulo de Rotura	0,633 kgf/cm ²
Resistencia Transversal	16 kg
Dureza	Escala de Mohr : 7
	Knoop: 240



Tabla N°3: Propiedades eléctricas magnéticas.

Propiedades Eléctricas Magnéticas	Magnitud	
Constante Dieléctrica	12	
Intervalo Energético	1,12	
Conductividad Eléctrica	190 °C	$2 \times 10^3 \Omega / \text{cm}$
	350 °C	$15 \Omega / \text{cm}$
	500 °C	$0.4 \Omega / \text{cm}$

Tabla N°3: Propiedades Químicas, Resistencia del Silicio frente a diferentes reactivos.

Agente	Resistencia	Observaciones
HCL	Resistente	Diluido o Concentrado frio o Hirviente
HF	Resistente	Diluido o Concentrado frio o Hirviente
HNO3	Resistente	Diluido o Concentrado frio o Hirviente
H2SO4	Resistente	Diluido o Concentrado frio o Hirviente
Aire	Resistente	-
NH3	Resistente	Reacciona al calor rojo brillante
Br	Resistente	Se quema a 500 °C
CO2	Resistente	-
Cl2	Resistente	Se quema a 340 °C
CuSO4	Resistente	Solución al 10%
FeCl3	Resistente	Solución al 10%
H2S	Resistente	-
I2	Resistente	-
O2	Resistente	Reacciona al calor rojo
KOH	Lo ataca	-
NaOH	Lo ataca	-
S	Resistente	Reacciona a temperaturas elevadas
SO2	Resistente	-
H2O	Resistente	-



Cloruro de Metilo

Tabla N°4: Propiedades térmicas del cloruro de metilo

Propiedades Térmicas	Magnitud	
Estado	Gaseoso	
Densidad Específica	0,952 a 0 °C	
Temperatura Crítica	143,1 °C	
Presión Crítica	65,8 atm	
Punto de Fusión	-97,7 °C	
Punto de Ebullición	-24 °C	
Calor de Vaporización	A - 23,8 °C 102,25 cal/g	A 20 °C 95,32 cal/g

Tabla N°5: Propiedades de los clorosilanos a producir

Compuesto	Calor Específico	Entalpia de Vaporización	Temperatura Crítica (°C)	Presión Crítica (atm)	Viscosidad Cp (25°C)	Conductividad Térmica
(CH ₃) ₃ SiCl	0,464	129,5	247	40,7	0,47	0,072
(CH₃)₂SiCl₂	0,376	128,5	266	39,5	0,47	0,075
(CH ₃)SiCl ₃	0,288	103,8	258	-	0,37	0,082
(CH ₃)HSiCl ₂	0,376	135,5	229	45,5	0,42	0,07



Tabla N°6: Propiedades de organoclorosilanos que se hallan en el comercio

Compuesto	Punto de Ebullición (°C)	Densidad (25°C)	Índice de Refracción	Punto de Inflamación (°C)	Punto de Combustión (°C)
$(\text{CH}_3)\text{SiCl}_3$	66,4	1,27	1,4085	8,3	8,3
$\text{C}_2\text{H}_3\text{SiCl}_3$	90,6	1,265	1,432	21	-
$\text{C}_2\text{H}_5\text{SiCl}_3$	99,5	1,236	1,4257	14-27	14
$\text{C}_3\text{H}_5\text{SiCl}_3$	117,5	1,217	1,487	35	-
$\text{ClC}_3\text{H}_4\text{SiCl}_3$	182,3	1,336	1,47	93	-
$n\text{ClC}_3\text{H}_4\text{SiCl}_3$	123,5	1,195	1,1292	35	37
$n\text{C}_4\text{H}_9\text{SiCl}_3$	148,9	1,16	1,436	52	
$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{SiCl}_4$	168	1,137	1,4152	63	63
$\text{C}_6\text{H}_5\text{SiCl}_3$	201	1,321	1,524	85-93	96
$\text{ClC}_6\text{H}_4\text{SiCl}_3$	230	1,439	1,5414	124	-
$\text{Cl}_2\text{C}_6\text{H}_3\text{SiCl}_3$	-	-	1,5638	141	-
$\text{C}_6\text{H}_9\text{SiCl}_3$	202	1,263	1,488	93	-
$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{SiCl}_3$	206	1,226	1,4759	85	90
$\text{Cl}_2\text{H}_2\text{SiCl}_3$	288	1,026	1,4521	-	-
$\text{Cl}_6\text{H}_{33}\text{SiCl}_3$	269	0,96	1,4568	146	156



Productos Comerciales

Tabla N°7: Productos comerciales de los organoclorosilanos

Compuesto	Color especificado por fabricante	Intervalo Ebullición (°C)	Etiqueta para Embarques	Productores
$(\text{CH}_3)\text{SiCl}_3$	Pajizo	3	Roja	Dow Corning- General Electric
$\text{C}_2\text{H}_3\text{SiCl}_3$	Diáfano incoloro	3	Roja	Dow Corning- Linde
$\text{C}_2\text{H}_5\text{SiCl}_3$	Incoloro- Pajizo	3	Roja	Dow Corning- Linde
$\text{C}_3\text{H}_5\text{SiCl}_3$	Diáfano incoloro	3	Blanca	Linde
$\text{ClC}_3\text{H}_4\text{SiCl}_3$	Diáfano incoloro	10	Blanca	Linde
$n\text{ClC}_3\text{H}_4\text{SiCl}_3$	Diáfano incoloro o Pajizo	3-1	Blanca	Dow Corning
$n\text{C}_4\text{H}_9\text{SiCl}_3$	Diáfano incoloro	6	Blanca	Linde
$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{SiCl}_4$	Diáfano incoloro	12	Blanca	Dow Corning- Linde
$\text{C}_6\text{H}_5\text{SiCl}_3$	Pajizo claro. Diáfano incoloro	8-10	Blanca	Dow Corning- Linde
$\text{ClC}_6\text{H}_4\text{SiCl}_3$	Diáfano incoloro	10	Blanca	Dow Corning- Linde
$\text{Cl}_2\text{C}_6\text{H}_3\text{SiCl}_3$	Diáfano incoloro	10	Blanca	Dow Corning- Linde
$\text{C}_6\text{H}_9\text{SiCl}_3$	Diáfano incoloro	3	Blanca	Linde
$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{SiCl}_3$	Pajizo. Diáfano incoloro	7-2	Blanca	Dow Corning
$\text{Cl}_2\text{H}_{25}\text{SiCl}_3$	Pajizo o Pardo. Diáfano incoloro	10-5	Blanca	Dow Corning- Linde
$\text{Cl}_6\text{H}_{33}\text{SiCl}_3$	Pajizo o Pardo. Diáfano incoloro	20-7	Blanca	Dow Corning



ANEXO II

Cálculos de las capacidades caloríficas, Cp.

La temperatura de la reacción es de 553 K, la corriente de alimentación de sólidos entra previamente calentada ya que recirculará previamente a través de la cañería encamisada.

Para el Si, corriente F₁, la temperatura de alimentación aproximada es de 550 K (277°C).

$$A_s = 16.149$$

$$B_s = 1.6356 \cdot 10^{-2}$$

$$C_s = -6.4577 \cdot 10^{-6}$$

$$C_p = \int_{550}^{553} (A_s + B_s \cdot T + C_s \cdot T^2) dT$$

$$\mathbf{C_{p1} = 69.616 \text{ joule/mol. K}}$$

Para el catalizador de cobre corriente F₁

$$A_{Cu} = 22.041$$

$$B_{Cu} = 8.844 \cdot 10^{-3}$$

$$C_{Cu} = -1.0071 \cdot 10^{-6}$$

$$C_p = \int_{550}^{553} (A_{Cu} + B_{Cu} \cdot T + C_{Cu} \cdot T^2) dT$$

$$\mathbf{C_{p8} = 79.837 \text{ joule/mol. K}}$$

Se tomará un valor promedio entre estos dos cálculos de Cp ya que el catalizador son pellets de Si-Cu

$$\mathbf{C_{p1} = 74.726 \text{ joule/mol. K}}$$

$$\mathbf{C_{p8} = 74.726 \text{ joule/mol. K}}$$

Para el CH₃Cl gas, corriente F₁, la temperatura a la que ingresará al reactor será aproximadamente de 280 ± 3°C, esta temperatura estará controlada por una termocupla instalada en el calentador. Para que la condición se cumpla:

$$A_2 = 27.385$$

$$B_2 = 2.6036 \cdot 10^{-2}$$



$$C_2 = 1.0321 \cdot 10^{-4}$$

$$D_2 = 1.0887 \cdot 10^{-7}$$

$$E_2 = 3.164210 \cdot 10^{-11}$$

$$C_p = \int_{550}^{553} (A_2 + B_2 \cdot T + C_2 \cdot T^2 + D_2 \cdot T^3 + E_2 \cdot T^4) dT$$

$$\mathbf{C_{p2} = 173.948 \text{ joule/mol. K}}$$

Para el $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$ gas, corriente F_2 la temperatura de salida del reactor será aproximadamente de 275°C considerando una pérdida por cañería de 5°C .

$$\mathbf{C_{p3} = 42.54 \text{ joule/mol. K (a 548 K)}}$$

Para el CH_3SiCl_3 gas corriente F_2 :

$$A_4 = 56.670$$

$$B_4 = 2.006 \cdot 10^{-1}$$

$$C_4 = 1.67211 \cdot 10^{-4}$$

$$D_4 = 7.2533 \cdot 10^{-8}$$

$$E_4 = -1.02684 \cdot 10^{-11}$$

$$C_p = \int_{550}^{553} (A_4 + B_4 \cdot T + C_4 \cdot T^2 + D_4 \cdot T^3 + E_4 \cdot T^4) dT$$

$$\mathbf{C_{p4} = 636.979 \text{ joule/mol. K}}$$

Para el $(\text{CH}_3)_3\text{SiCl}$ gas corriente F_2 :

$$\mathbf{C_{p5} = 52.15 \text{ joule/mol. K}}$$

Para el $\text{CH}_3\text{SiHCl}_2$ gas corriente F_2 :

$$A_6 = 37.250$$

$$B_6 = 2.3327 \cdot 10^{-1}$$

$$C_6 = -1.9952 \cdot 10^{-4}$$

$$D_6 = 9.1473 \cdot 10^{-8}$$

$$E_6 = -1.7387 \cdot 10^{-11}$$

$$C_p = \int_{550}^{553} (A_6 + B_6 \cdot T + C_6 \cdot T^2 + D_6 \cdot T^3 + E_6 \cdot T^4) dT$$

$$\mathbf{C_{p6} = 594.32 \text{ joule/mol. K}}$$



Para el $(\text{CH}_3)_2\text{SiHCl}$ gas corriente F_2 :

$$PM_7=94.53$$

$$C_p = \int_{550}^{553} (0.072 \cdot T + 0.521) \cdot \frac{1}{PM_7} dT$$

$$C_{p7} = 8.895 \text{ joule/mol. K}$$

Para el Si, en la corriente F_3 se supone que la temperatura de salida del filtro de mangas es de 265°C , el C_p se calcula para la corriente de recirculación que retorna a la corriente de alimentación F_1 , considerando una disminución de 10°C por efecto de la cañería.

$$C_p = \int_{538}^{548} (A_s + B_s \cdot T + C_s \cdot T^2) dT$$

$$C_{p9} = 231.262 \text{ joule/mol. K}$$

Para el Si-Cu en la corriente F_3 de reciclo, nuevamente se calculará un valor promedio entre los dos metales:

$$C_p = \int_{538}^{548} (A_{Cu} + B_{Cu} \cdot T + C_{Cu} \cdot T^2) dT$$

$$C_{p10} = 265.466 \text{ joule/mol. K}$$

$$\text{Promediando por lo tanto } C_{p9} = C_{p10} = 248.364 \text{ joule/mol. K}$$

Para el CH_3Cl gas corriente F_6 , la temperatura a la salida del filtro de mangas es de 260°C y la temperatura de entrada al condensador 250°C , suponiendo una disminución de 10°C en cañería.

$$C_p = \int_{523}^{533} (A_2 + B_2 \cdot T + C_2 \cdot T^2 + D_2 \cdot T^3 + E_2 \cdot T^4) dT$$

$$C_{p11} = 563.362 \text{ joule/mol. K}$$

Para el $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$ gas, corriente F_6 :

$$C_{p12} = 42.54 \text{ joule/mol. K (a } 800 \text{ K)}$$

Para el CH_3SiCl_3 gas corriente F_6 :



$$C_p = \int_{523}^{533} (A_4 + B_4 \cdot T + C_4 \cdot T^2 + D_4 \cdot T^3 + E_4 \cdot T^4) dT$$

$$C_{p13} = 1.257 \cdot 10^3 \text{ joule/mol. K}$$

Para el $(CH_3)_3SiCl$ gas corriente F_6 :

$$C_{p14} = 52.15 \text{ joule/mol. K}$$

Para el CH_3SiHCl_2 gas corriente F_6 :

$$C_p = \int_{523}^{533} (A_6 + B_6 \cdot T + C_6 \cdot T^2 + D_6 \cdot T^3 + E_6 \cdot T^4) dT$$

$$C_{p15} = 1.169 \cdot 10^3 \text{ joule/mol. K}$$

Para el $(CH_3)_2SiHCl$ gas corriente F_6 :

$$C_p = \int_{523}^{533} (0.072 \cdot T + 0.521) \cdot \frac{1}{PM_7} dT$$

$$C_{p16} = 17.072 \text{ joule/mol. K}$$

Para el CH_3Cl gas de la corriente F_8 , para esto se calculan los C_p a las temperaturas que se manejan en el condensador, la temperatura de salida del condensador es de $45^\circ C$, teniendo en cuenta que la temperatura de ebullición de CH_3Cl es de $-20^\circ C$, esta corriente es gaseosa.

$$C_p = \int_{318}^{523} (A_2 + B_2 \cdot T + C_2 \cdot T^2 + D_2 \cdot T^3 + E_2 \cdot T^4) dT$$

$$C_{p17} = 1.014 \cdot 10^4 \text{ joule/mol. K}$$

Para el $(CH_3)_2SiCl_2$ en la corriente F_7 a la salida del condensador:

$$C_{p18} = 26.17 \text{ joule/mol. K (a } 800 \text{ K)}$$

Para el $(CH_3)_2SiCl_2$ gas, corriente F_7 . En el caso de que existiera una pequeña fracción de vapor:

$$C_{p19} = 42.54 \text{ joule/mol. K (a } 800 \text{ K)}$$

Para el CH_3SiCl_3 liquido corriente F_7 , se calculan los C_p teniendo en cuenta las temperaturas de los cambios de fase para el cálculo de las entalpias:

$$A_{4L} = 54.416$$

$$B_{4L} = 8.869 \cdot 10^{-1}$$



$$C_{4L} = 2.858 \cdot 10^{-3}$$

$$D_{4L} = 3.8406 \cdot 10^{-6}$$

$$C_p = \int_{318}^{339} (A_4 + B_4 \cdot T + C_4 \cdot T^2 + D_4 \cdot T^3) dT$$

$$C_{p20} = 3.66 \cdot 10^3 \text{ joule/mol. K}$$

Para el $(CH_3)_3SiCl_3$ gas corriente F_6 , la temperatura de entrada al condensador es de 250°C

$$C_p = \int_{339}^{523} (A_4 + B_4 \cdot T + C_4 \cdot T^2 + D_4 \cdot T^3 + E_4 \cdot T^4) dT$$

$$C_{p21} = 2.15 \cdot 10^4 \text{ joule/mol. K}$$

Para el $(CH_3)_3SiCl$ liquido corriente F_7 :

$$C_{p22} = 31.36 \text{ joule/mol. K (a 300 K)}$$

Para el $(CH_3)_3SiCl$ gas corriente F_6 a la temperatura de entrada al condensador:

$$C_{p23} = 52.15 \text{ joule/mol. K (a 800 K)}$$

Para el CH_3SiHCl_2 liquido en la corriente F_7

$$A_{6L} = 66.188$$

$$B_{6L} = 6.883 \cdot 10^{-1}$$

$$C_{6L} = -2.376 \cdot 10^{-3}$$

$$D_{6L} = 3.3997 \cdot 10^{-6}$$

$$C_p = \int_{314.9}^{318} (A_6 + B_6 \cdot T + C_6 \cdot T^2 + D_6 \cdot T^3) dT$$

$$C_{p24} = 476.657 \text{ joule/mol. K}$$

Para el CH_3SiHCl_2 gas en la corriente F_6 , a la temperatura de entrada del condensador:

$$C_p = \int_{314.9}^{523} (A_6 + B_6 \cdot T + C_6 \cdot T^2 + D_6 \cdot T^3 + E_6 \cdot T^4) dT$$

$$C_{p25} = 2.201 \cdot 10^4 \text{ joule/mol. K}$$

Para el $(CH_3)_2SiHCl$ liquido en la corriente F_7 :

$$A_{7L} = 69$$



$$B_{7L} = 5.9 \cdot 10^{-1}$$

$$C_{7L} = -2.2 \cdot 10^{-3}$$

$$D_{7L} = 3.1 \cdot 10^{-6}$$

$$C_p = \int_{309}^{315} (0.088 \cdot T + 12.173) \cdot \frac{1}{PM_7} dT$$

$$C_{p26} = 10.533 \text{ joule/mol. K}$$

Para el $(CH_3)_2SiHCl$ gas, en la corriente F_6 a la temperatura de entrada del condensador

$$C_p = \int_{309}^{523} (0.072 \cdot T + 0.521) \cdot \frac{1}{PM_7} dT$$

$$C_{p27} = 288.885 \text{ joule/mol. K}$$

Para el CH_3Cl gas en el mezclador y en la corriente F_5 la temperatura es de $140^\circ C$ y en la F_9 era de $40^\circ C$:

$$C_p = \int_{313}^{403} (A_2 + B_2 \cdot T + C_2 \cdot T^2 + D_2 \cdot T^3 + E_2 \cdot T^4) dT$$

$$C_{p28} = 4.092 \cdot 10^3 \text{ joule/mol. K}$$

Para el CH_3Cl gas en el calentador la temperatura de entrada es de $109.3^\circ C$ y la temperatura de salida es de $280^\circ C$:

$$C_p = \int_{382.3}^{553} (A_2 + B_2 \cdot T + C_2 \cdot T^2 + D_2 \cdot T^3 + E_2 \cdot T^4) dT$$

$$C_{p29} = 8.96 \cdot 10^3 \text{ joule/mol. K}$$

La corriente F_{12} a la entrada de la columna tiene una temperatura de $42^\circ C$, se consideró una disminución de $5^\circ C$ por efecto de la cañería y del tanque.

Se habrá un balance global en la columna, teniendo en cuenta que la temperatura de salida del condensador de la torre des de $25^\circ C$ y la corriente de salida del reboiler es de $125^\circ C$.

Para la corriente F_{13} la temperatura en la cabeza de la columna es de $70^\circ C$ y a la salida del condensador de $25^\circ C$.



$$C_p = \int_{339}^{343} (A_4 + B_4 \cdot T + C_4 \cdot T^2 + D_4 \cdot T^3 + E_4 \cdot T^4) dT$$

$$C_{p30} = 390.161 \text{ joule/mol. K}$$

$$C_p = \int_{298}^{339} (A_{4L} + B_{4L} \cdot T + C_{4L} \cdot T^2 + D_{4L} \cdot T^3) dT$$

$$C_{p31} = 7.088 \cdot 10^3 \text{ joule/mol. K}$$

Para el $\text{CH}_3\text{SiHCl}_2$ líquido en la corriente F_{13}

$$C_p = \int_{314.9}^{523} (A_6 + B_6 \cdot T + C_6 \cdot T^2 + D_6 \cdot T^3 + E_6 \cdot T^4) dT$$

$$C_{p32} = 2.682 \cdot 10^3 \text{ joule/mol. K}$$

$$C_p = \int_{298}^{314.9} (A_{6L} + B_{6L} \cdot T + C_{6L} \cdot T^2 + D_{6L} \cdot T^3) dT$$

$$C_{p33} = 2.565 \cdot 10^3 \text{ joule/mol. K}$$

Para el $(\text{CH}_3)_2\text{SiHCl}$ líquido, en la corriente F_{13}

$$C_p = \int_{309}^{343} (0.072 \cdot T + 0.521) \cdot \frac{1}{PM_7} dT$$

$$C_{p34} = 36.138 \text{ joule/mol. K}$$

$$C_p = \int_{298}^{309} (0.088 \cdot T + 12.173) \cdot \frac{1}{PM_7} dT$$

$$C_{p35} = 18.946 \text{ joule/mol. K}$$

Para la corriente F_{14} CH_3SiCl_3 gas, teniendo en cuenta el cambio de fase en el fondo de la columna:

$$C_p = \int_{339}^{398} (A_4 + B_4 \cdot T + C_4 \cdot T^2 + D_4 \cdot T^3 + E_4 \cdot T^4) dT$$

$$C_{p36} = 6.522 \cdot 10^3 \text{ joule/mol. K}$$

Para el $\text{CH}_3\text{SiHCl}_2$ gas en el fondo de la columna:

$$C_p = \int_{314.9}^{398} (A_6 + B_6 \cdot T + C_6 \cdot T^2 + D_6 \cdot T^3 + E_6 \cdot T^4) dT$$



$$\mathbf{Cp_{37} = 8.214 \cdot 10^3 \text{ joule/mol. K}}$$

Para el $(\text{CH}_3)_2\text{SiHCl}$ gas en el fondo de la columna:

$$Cp = \int_{309}^{398} (0.088 \cdot T + 12.173) \cdot \frac{1}{PM_7} dT$$

$$\mathbf{Cp_{38} = 102.402 \text{ joule/mol. K}}$$

Para la corriente F_{12} los valores de Cp serán los siguientes teniendo en cuenta que la temperatura para los balances será 25°C :

$$Cp = \int_{298}^{315} (A_{4L} + B_{4L} \cdot T + C_{4L} \cdot T^2 + D_{4L} \cdot T^3) dT$$

$$\mathbf{Cp_{39} = 2.862 \cdot 10^3 \text{ joule/mol. K}}$$

Para el $\text{CH}_3\text{SiHCl}_2$ líquido en la corriente F_{12} :

$$Cp = \int_{298}^{314.9} (A_{6L} + B_{6L} \cdot T + C_{6L} \cdot T^2 + D_{6L} \cdot T^3) dT$$

$$\mathbf{Cp_{40} = 2.58 \cdot 10^3 \text{ joule/mol. K}}$$

Para el $(\text{CH}_3)_2\text{SiHCl}$ líquido en la corriente F_{12} :

$$Cp = \int_{298}^{315} (0.088 \cdot T + 12.173) \cdot \frac{1}{PM_7} dT$$

$$\mathbf{Cp_{41} = 29.48 \text{ joule/mol. K}}$$



BIBLIOGRAFÍA

- Peters, M. Timmerhaus, K. "Plant design and economics for chemical engineers", Ed. McGraw-Hill, 4ª edición, 1991.
- Baca Urbina, G. "Evaluación de proyectos", Ed. McGraw-Hill. 3ª edición, 1995.
- Illanes, R. 2010. Integración V. Proyecto Final. Universidad Tecnológica Nacional Villa María.
- Eugene, George Rochow; Dallas T Hurd; Richard N Lewis. 1970. The Chemistry of organometallic compounds. New York. John Wiley & Sons.
- Jorge Cervantes Jáuregui, Arturo Zizumbo López, Alberto Florentino Aguilera Alvarado, José Emigdio Frausto Romero, Bonfilio Acosta Solís, Francisco Javier Luna García. Estudio del efecto de distintos promotores en la reacción directa entre silicio y cloruro de metilo. Journal of the Mexican Chemical Society, vol. 47, núm. 4, octubre-diciembre, 2003, pp. 313-319, Sociedad Química de México. México.
- http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/disido_cy/en/info/m_fact/mrochow.htm
- SAPAG CHAIN, N. y SAPAG CHAIN, R. Preparación y Evaluación de Proyectos. Madrid: Mc Graw Hill, 2007.
- Joao G. Rocha Poço. 2001. Estudo da síntese de dimetildiclorosilano a partir de cloreto de metila e silício. Sao Paulo.
- Jorge Cervantes Jáuregui, Arturo Zizumbo López, Alberto Florentino Aguilera Alvarado, José Emigdio Frausto Romero, Bonfilio Acosta Solís, Francisco Javier Luna García. Estudio del efecto de distintos promotores en la reacción directa entre silicio y cloruro de metilo. Journal of the Mexican Chemical Society, vol. 47, núm. 4, octubre-diciembre, 2003, pp. 313-319, Sociedad Química de México. México.
- Apuntes de la cátedra "Organización Industrial", Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María.
- Apuntes de la cátedra "Integradora V", Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional Villa María.
- Chain, N. Chain, R. "Preparación y evaluación de proyectos". Ed. McGraw-Hill, 2ª edición. 1989



- Baca Urbina, G. "Evaluación de Proyectos", Ed. McGraw-Hill, 5^{ta} Edición, 2006.
- www.parqueindustrialsanfrancisco.com
- www.parqueindustrial.villamaria.gob.ar
- <http://www.ieralpyme.org>
- Gilbert Castellan. "FISICOQUÍMICA". Ed. Fondo Educativo Interamericano S.A. Año 1985.
- Lorenzo A. Facorro Ruiz. "CURSO DE TERMODINÁMICA". Ed. Melior. Séptima edición. Buenos Aires. Año 1974.
- Donald Q. Kern. "PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR". Ed. Continental, S.A., México. Primera edición en español. Agosto de 1965.
- Robert H. Perry. "MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO". Ed. Mc Graw Hill. Quinta edición. Año 1973
- Cervantes Jáuregui, Jorge, & Zizumbo López, Arturo, & Aguilera Alvarado, Alberto Florentino, & Frausto Romero, José Emigdio, & Acosta Solís, Bonfilio, & Luna García, Francisco Javier (2003). Estudio del efecto de distintos promotores en la reacción directa entre silicio y cloruro de metilo. Journal of the Mexican Chemical Society, 47(4),313-319. ISSN: 1870-249X.
- ChemCAD 7.1.2.
- MathCAD 15
- www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Motores-EI%C3%A9ctricos/c/BR_MT
- Plant Design & Economics for Chemical Engineers, 4th Edition, PETERS – TIMMERHAUS, 1991.
- Cervantes Jáuregui, Jorge, & Zizumbo López, Arturo, & Aguilera Alvarado, Alberto Florentino, & Frausto Romero, José Emigdio, & Acosta Solís, Bonfilio, & Luna García, Francisco Javier (2003). Estudio del efecto de distintos promotores en la reacción directa entre silicio y cloruro de metilo. Journal of the Mexican Chemical Society, 47(4),313-319. ISSN: 1870-249X.
- Foust A. y otros, "PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS", segunda edición, ed. CECSA, México.



- Geankoplis C, "PROCESOS DE TRANSPORTE Y OPERACIONES UNITARIAS", tercera edición, ed. CECSA, México, 1999.
- Kern, D. Q., "PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR", ed. Cecsa, México, 1999.
- Mc-Cabe & Smith, ed. Mcgraw-Hill, "OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA", cuarta edición, España.
- Ocon J.;Tojo G.,"PROBLEMAS DE INGENIERÍA QUÍMICA", tomo I, ED. Aguilar, España, 1980.
- Perry D., "MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO", sexta edición, ed. McGraw-Hill, USA.
- www.astm.com Normas ASTM.
- www.dow.com Fichas técnicas
- Fichas técnicas provistas por Química Caligari, Virrey del Pino, Buenos Aires.
- Asesoramiento técnico de la arquitecta Julia Doffo, matrícula 1/10307.
- Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón. José Calavera. Ed INTEMAC
- -C. J Geankoplis. PROCESOS DE TRANSPORTE Y OPERACIONES UNITARIAS. Ed. CECSA. Tercera Edición. Año 1998.
- Guerrero A. Porrás A., "SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS", Ed. McGraw-Hill, España, 1997.
- R. Rodríguez Luengo. INSTALACIÓN ELÉCTRICA INDUSTRIAL.
- Robertjot P., "ELEMENTOS DE ELECTRICIDAD INDUSTRIAL", Ed.Gustavo Gili, España, 1992.
- Valkenburg V. and Neville N., "ELECTRICIDAD INDUSTRIAL BÁSICA". Cuarta edición, Ed. Bell S.A. Buenos Aires, Argentina 1995.
- www.luz.philips.com
- "ALMACENAMIENTO SEGURO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS". http://biology.uprm.edu/files/almacenamiento_sustancias_químicas.pdf.
- "EVALUACIÓN AMBIENTAL" (Volumen I; II y III). Trabajos Técnicos del Departamento de Medio Ambiente.



- “FICHAS INTERNACIONALES DE SEGURIDAD QUÍMICA”. Programa Internacional de Seguridad de las sustancias Químicas. http://training.itcilo.it/actrav_cdrom2/es/osh/kemi/alpha2.htm
- “LEGISLACIÓN ARGENTINA SOBRE EL MEDIO AMBIENTE, HIGIENE Y SEGURIDAD”. <http://www.audita.com.ar/colab/normativa.htm>.
- Abraham Hernández Abraham, Abraham Hernández Villalobos. “FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PARA PRINCIPIANTES”. Ed. Ecafsa Thomson Learning. México, 2003.
- Marcelo Waldemar Mildner, Chibli Yammal. “DERECHO: MARCO JURÍDICO DE LAS ORGANIZACIONES”. Ed. Chibli Yammal. Córdoba, Argentina, 2005.
- “LEY DE SOCIEDADES COMERCIALES”, Ed. La Ley S.A.E. e.I, Bs. As., Argentina, 2003.
- - Abraham Hernández Abraham, Abraham Hernández Villalobos. “FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PARA PRINCIPIANTES”. Ed. Ecafsa Thomson Learning. México, 2003.
- - Marcelo Waldemar Mildner, Chibli Yammal. “DERECHO: MARCO JURÍDICO DE LAS ORGANIZACIONES”. Ed. Chibli Yammal. Córdoba, Argentina, 2005.
- - “LEY DE SOCIEDADES COMERCIALES”, Ed. La Ley S.A.E. e.I, Bs. As., Argentina, 2003.